

PCT

世界知的所有権機関
国際事務局
特許協力条約に基づいて公開された国際出願



| | | |
|---|-----------|---|
| <p>(51) 国際特許分類7 G02B 17/08</p> | <p>A1</p> | <p>(11) 国際公開番号 WO00/39623</p> <p>(43) 国際公開日 2000年7月6日(06.07.00)</p> |
| <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/07225</p> <p>(22) 国際出願日 1999年12月22日(22.12.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平10/370143 1998年12月25日(25.12.98) JP 特願平11/66769 1999年3月12日(12.03.99) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 大村泰弘(OMURA, Yasuhiro)[JP/JP] 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 井上義雄, 外(INOUE, Yoshio et al.) 〒103-0027 東京都中央区日本橋3丁目1番4号 画廊ビル3階 Tokyo, (JP)</p> | | <p>(81) 指定国 JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p> |
| <p>(54)Title: REFLECTION REFRACTION IMAGE-FORMING OPTICAL SYSTEM AND PROJECTION EXPOSURE APPARATUS COMPRISING THE OPTICAL SYSTEM</p> <p>(54)発明の名称 反射屈折結像光学系および該光学系を備えた投影露光装置</p> <div data-bbox="386 1272 1214 1646"></div> <p>(57) Abstract A reflection refraction image-forming optical system which has a desired image-side NA and image circle achieved by using a small number of lenses without inviting enlargement of the reflecting mirror. The optical system comprises a first image-forming optical system having a first group of positive lenses, an aperture stop, and a second group of positive lenses in the order from the object side, and a second image-forming optical system having a main mirror having a first negative reflecting surface which has a first light passing part at its center and a sub-mirror having a second reflecting surface which has a second light passing part at its center. All the refracting members constituting the optical system are made of the same optical material, at least one surface of the refracting and reflecting surfaces is an aspherical surface, and a refracting member spaced from the first and second reflecting surfaces is provided.</p> | | |

(57)要約

少ないレンズ枚数で、反射鏡の大型化を招くことなく、所望の像側N A及びイメージサークルを得ることができる反射屈折結像光学系等を提供することを目的とする。この反射屈折結像光学系は、第1結像光学系と第2結像光学系とを備え、第1結像光学系は、物体側から順に、正第1レンズ群と開口絞りと正第2レンズ群とを有し、第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有する負第1反射面からなる主鏡と、中央部に第2光通過部を有する第2反射面からなる副鏡とを備える。ここで、光学系を構成するすべての屈折部材を同一の光学材料で構成したり、屈折面や反射面のうち少なくとも1つを非球面としたり、第1反射面及び第2反射面から離間されている屈折部材を配置したりする。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

| | | | | | | | |
|----|--------------|-----|---------|----|----------------|----|------------|
| AE | アラブ首長国連邦 | DM | ドミニカ | KZ | カザフスタン | RU | ロシア |
| AG | アンティグア・バーブーダ | DZ | アルジェリア | LC | セントルシア | SD | スーダン |
| AL | アルバニア | EES | エストニア | LI | リヒテンシュタイン | SE | スウェーデン |
| AM | アルメニア | ES | スペイン | LK | スリ・ランカ | SG | シンガポール |
| AT | オーストリア | FI | フィンランド | LR | リベリア | SI | スロヴェニア |
| AU | オーストラリア | FR | フランス | LS | レソト | SK | スロヴァキア |
| AZ | アゼルバイジャン | GA | ガボン | LT | リトアニア | SL | シエラ・レオネ |
| BA | ボスニア・ヘルツェゴビナ | GB | 英国 | LU | ルクセンブルグ | SN | セネガル |
| BB | バルバドス | GD | グレナダ | LV | ラトヴィア | SZ | スワジランド |
| BE | ベルギー | GE | グルジア | MA | モロッコ | TD | チャード |
| BF | ブルキナ・ファソ | GH | ガーナ | MC | モナコ | TG | トーゴ |
| BG | ブルガリア | GM | ガンビア | MD | モルドヴァ | TJ | タジキスタン |
| BJ | ベナン | GN | ギニア | MG | マダガスカル | TM | トルクメニスタン |
| BR | ブラジル | GR | ギリシャ | MK | マケドニア旧ユーゴスラヴィア | TR | トルコ |
| BY | ベラルーシ | GW | ギニア・ビサウ | ML | 共和国 | TT | トリニダード・トバゴ |
| CA | カナダ | HR | クロアチア | MN | モンゴル | TZ | タンザニア |
| CF | 中央アフリカ | HU | ハンガリー | MR | モーリタニア | UA | ウクライナ |
| CG | コンゴ | ID | インドネシア | MW | マラウイ | UG | ウガンダ |
| CH | スイス | IE | アイルランド | MX | メキシコ | US | 米国 |
| CI | コートジボアール | IL | イスラエル | MZ | モザンビーク | UZ | ウズベキスタン |
| CM | カメルーン | IN | インド | NE | ニジェール | VN | ヴェトナム |
| CN | 中国 | IS | アイスランド | NL | オランダ | YU | ユーゴスラヴィア |
| CU | キューバ | IT | イタリア | NO | ノルウェー | ZA | 南アフリカ共和国 |
| CY | キプロス | JP | 日本 | NZ | ニュー・ジージーランド | ZW | ジンバブエ |
| CZ | チェコ | KE | ケニア | PL | ポーランド | | |
| DE | ドイツ | KG | キルギスタン | PT | ポルトガル | | |
| DK | デンマーク | KP | 北朝鮮 | RO | ルーマニア | | |
| | | KR | 韓国 | | | | |

明細書

反射屈折結像光学系および該光学系を備えた投影露光装置

技術分野

- 5 本発明は、例えば半導体素子や液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する投影露光の際に好適に使用される反射屈折結像光学系、並びに該反射屈折結像光学系を備えた投影露光装置及び露光方法に関し、特に反射屈折結像光学系内の結像光学系の一要素として反射系を用いることにより、紫外線波長域で0.1 μm 以下の解像度を有する反射屈折
- 10 結像光学系等に関する。

背景技術

- 半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスク又はレチクル（以下、総称して「レチクル」という）上に形成されたパターン像を投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート上などに投影露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するためには、照明光（露光光）の波長を短くすること及び投影光学系の開口数（NA）を大きくすることが必要となる。例えば、照明光の波長が180 nm以下の場合は、0.1 μm 以下の高解像を達成できる。
- 15 成されたパターン像を投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート上などに投影露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するためには、照明光（露光光）の波長を短くすること及び投影光学系の開口数（NA）を大きくすることが必要となる。例えば、照明光の波長が180 nm以下の場合は、0.1 μm 以下の高解像を達成できる。
- 20 くすること及び投影光学系の開口数（NA）を大きくすることが必要となる。例えば、照明光の波長が180 nm以下の場合は、0.1 μm 以下の高解像を達成できる。

- しかし、照明光の波長が短くなると、光の吸収が大きくなり、実用に耐える硝材の種類は限られてしまい、特に波長が180 nm以下になると実用上使える硝材は蛍石だけに限定される。このため、屈折レンズ系のみ、即ち屈折力を有する反射鏡（凹面反射鏡又は凸面反射鏡）を含ま
- 25 と実用上使える硝材は蛍石だけに限定される。このため、屈折レンズ系のみ、即ち屈折力を有する反射鏡（凹面反射鏡又は凸面反射鏡）を含ま

ないレンズ成分のみで構成された投影光学系では、色収差の補正が不可能となる。

また、投影光学系に求められる光学性能は極めて高いため、諸収差をほぼ無収差にまで補正することが必要となる。しかし、屈折型投影光学系で所望の光学性能を達成するためには多数レンズ成分が必要となり、
5 透過率の低減や製造コストの増大を避けることはできない。

これに対して、凹面反射鏡等のパワー（屈折力）を利用する反射型の光学系、すなわちレンズ成分を含むことなく屈折力を有する反射鏡を含む光学系は、色収差を生じることがなく、ペッツバル和に関してレンズ成分とは符号が逆の寄与を示す。従って、反射光学系と屈折光学系とを組み合わせた光学系、いわゆる反射屈折型の光学系（以下、「反射屈折結像光学系」という）は、レンズ枚数の増加を招くことなく、色収差をはじめ各諸収差をほぼ無収差にまで良好に補正することができる。ここで、反射屈折結像光学系とは、少なくとも1つのレンズ成分と、屈折力を有する少なくとも1つの反射鏡とを含む光学系である。なお、屈折型の光学系や反射型の光学系において、必要に応じて平行平板や光路偏向用の平面反射鏡などが設けられることは言うまでもない。
10
15

しかしながら、投影露光装置の投影光学系の光路中に凹面反射鏡を用いると、レチクル側からこの凹面反射鏡に入射した光が反射されて再び元のレチクル側へ逆進してしまう。このため、凹面反射鏡に入射する光の光路と凹面反射鏡で反射される光の光路とを分離するとともに凹面反射鏡からの反射光をウエハ方向へ導くための技術が、すなわち反射屈折結像光学系により投影光学系を構成する種々の技術が、従来より多く提案されている。
20

25 代表的な光路分離の方法として、特公平7-117648号公報には、ハーフミラーや偏光ビームスプリッター等の透過反射面を用いて光路分

離を行う方法が提案されている。また、米国特許第4, 779, 966号公報には、光軸外の光路を用いて中間像を形成し、中間像の形成位置の近傍に光路折り曲げ用の平面鏡を配置して光路分離を行なう方法が提案されている。さらに、米国特許第5, 031, 976号公報には、中央に開口部を有する2枚の反射鏡を用い、光学系の瞳の近くで光束断面の大きいときに光束が反射され、且つ像面の近くで光束断面の小さいときに光束が中央開口部を通過するように2枚の反射鏡を配置することにより光路分離を行なう方法が提案されている。

しかしながら、特公平7-114648号公報及び米国特許第4, 779, 966号公報に開示された光路分離方法では、光路分離のために光軸に対して斜設された平面鏡を用いるため、光学系が複数の光軸を有することになる。高精度な光学部品の調整を必要とする投影光学系においては、複数の光軸の位置合わせを高精度に行なうとともに各光軸に対して所望の位置に光学部品をミクロンオーダーで配置することは非常に難しい技術を必要とするため、結果として光学系を製造するためのコストの増大を避けることはできない。

一方、米国特許第5, 031, 976号公報に開示された光路分離方法を用いると、光学系を構成するすべての光学要素を単一の光軸に沿って配置することができる。その結果、投影光学系において従来から用いられている光学部品の調整方法に従って高精度に光学系を製造することが可能である。この光路分離方法を用いた光学系が、米国特許第5, 031, 976号公報の他にも、米国特許第5, 488, 229号公報、米国特許5, 650, 877号公報、米国特許第5, 717, 518号公報等が開示されている。

しかしながら、米国特許第5, 031, 976号公報などに開示された光学系では、2つの反射鏡で全く反射されることなくその中央開口部

を通過して像面に達する迷光の発生を回避するために、結像光束のうち光軸を中心とした一部の光束を遮る必要がある。その結果、この結像光束の中心遮蔽に起因して、光学系の結像特性が低下する。従って、米国特許第 5, 0 3 1, 9 7 6 号公報に開示された光路分離方法を投影光学系に適用するには、十分な光学性能を得るため、結像光束の中心遮蔽率（以下、単に「中心遮蔽率」という）を小さく抑えることが重要である。

米国特許 5, 6 5 0, 8 7 7 号公報に開示された光学系では、中間像を形成することなく、物体面（マスク面に対応する面）寄りにハーフミラーを配置し、像面（ウエハ面に対応する面）寄りに中央に開口部を有する反射鏡を配置することによって、中心遮蔽率をある程度小さく抑えている。すなわち、この光学系では、ハーフミラーの採用が必須となる。しかしながら、たとえば波長が 1 8 0 n m 以下の露光光を用いる投影光学系に対してこの光学系を適用した場合、半透過薄膜の形成に使用可能な物質が限定されるので、十分な性能のハーフミラーを製造することは困難である。また、ウエハ面に到達する光は 1 / 4 以下となってしまうため、スループットの低下は避けられない。

米国特許第 5, 0 3 1, 9 7 6 号公報、米国特許第 5, 4 8 8, 2 2 9 号公報、及び米国特許第 5, 7 1 7, 5 1 8 号公報に開示された光学系では、いずれも第 1 結像光学系を介して中間像を形成し、その形成位置の近傍に中央開口部を有する第 1 の反射鏡を配置し、さらに像面の近傍に中央開口部を有する第 2 の反射鏡を配置することによって、中心遮蔽率をある程度小さく抑えている。

しかしながら、これらの公報に開示された光学系は、以下のような不都合を有する。

一般に、投影光学系が 0. 1 μ m 以下の高解像を得るには、露光光として F₂ レーザ（波長 1 5 7 n m）を用いたとしても、0. 7 以上の像

側NAが必要となる。また、半導体チップのサイズおよびスループットを考えると、像側のイメージサークルが直径10mmを切ることは現在のところ考えられない。さらに、像側のWD（ワークディスタンス：投影光学系の最もウエハ側のレンズ面とウエハとの間の軸上空気間隔）も、
5 露光時のレジスト（ウエハに塗布された）からのアウトガスの影響やウエハステージの駆動の影響を考えると、大幅に小さくすることはできない。

米国特許第5,650,877号公報に開示された光学系では、中間像の形成位置の近傍に厚肉レンズを配置するとともに第2の反射鏡である裏面反射鏡の屈折部に厚肉レンズを採用し、従来から知られている厚肉レンズの色収差補正を利用して、第1結像光学系で発生する色収差の補正を行っている。しかしながら、この光学系では、投影光学系に求められる上述の要件（像側NA、イメージサークル径、像側のWDなど）を満たそうとすると、裏面反射鏡の屈折部の厚さが大きくなり、この屈折部の厚さに比例して裏面反射鏡の径が著しく大きくなる。その結果、
10 製造が困難になるばかりでなく、製造コストが飛躍的に増大してしまう。

また、この光学系では物体側（像側）が無限遠に近いことを想定しているので第1結像光学系の屈折力が小さく、第1結像光学系における色収差の発生もあまり大きくないため、厚肉レンズによりある程度良好な色収差補正を達成している。しかしながら、全系として0.15～0.4程度の縮小倍率が要求される投影光学系に適用する場合、第1結像光学系の屈折力が増大させざるを得ず、第1結像光学系における色収差の発生が増大を避けることはできない。その結果、この光学系において、特に2つの反射鏡の径および厚さを現実的な大きさに保ったまま、色収差を良好に補正することは困難である。
20 25

米国特許第5,488,229号公報に開示された光学系は、米国特

許第 5, 031, 976 号公報に開示された光学系の変形であり、光源として ArF エキシマレーザ（発振波長 193 nm）を用いるレーザリペア装置（レーザ加工により半導体回路の修正を行う装置）のための光学系を想定してその最適化を行なったものである。この光学系では、厚肉レンズを用いることなく、2 枚の裏面反射鏡を用いることにより色収差補正を行なっている。しかしながら、中間像の形成位置の近傍に配置される凹面鏡が色収差補正の目的から裏面反射鏡であるため、0.7 以上の像側 NA を達成するとともに像側において所要の大きさのイメージサークルを達成するには、凹面鏡の径が著しく大きくなり、半導体露光装置等の投影光学系としては実現可能な光学解とはなり得ない。

米国特許第 5, 717, 518 号公報に開示された光学系では、0.8 の像側 NA を達成している。しかしながら、米国特許第 5, 488, 229 号公報に開示された光学系と同様に、中間像の形成位置の近傍に配置される凹面鏡が色収差補正の目的から裏面反射鏡であるため、像側において所要の大きさのイメージサークルを達成するには、凹面鏡の径が著しく大きくなり現実的ではない。また、この従来技術では、良好な色収差補正を行なうために、石英ガラスや螢石等の複数の硝材を用いて光学系を構成している。このため、この光学系では、波長が 180 nm 以下の露光光を用いることはできず、実質的には ArF エキシマレーザ光が使用可能な最短の波長光である。

また、180 nm 以下の波長の露光光を用いる光学系においては、十分な屈折率を得るという観点から屈折部材として螢石を用いることになるが、裏面反射コートをした螢石レンズを用いた場合、以下のような不都合を生じる可能性がある。すなわち、このような波長域の光を反射するコートはその膜材料が限定され光吸収が比較的大きくなることから、コートに吸収された大きな光エネルギーが熱として螢石レンズに伝播す

る。その結果、熱膨張率が大きい蛍石は、露光中にそのレンズ面形状が変化し、結像性能を劣化させるという傾向が生じ易い。

発明の開示

- 5 本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、例えば波長が180 nm以下の紫外領域の照明光を用いた場合にも、少ないレンズ枚数で、反射鏡の大型化を招くことなく、所要の大きさの像側NA及びイメージサークルを得ることができ、例えば0.1 μ m以下の高解像を達成することのできる反射屈折結像光学系及び該光学系を備えた投影露光装置等
- 10 を提供することを目的とする。

- 第1発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の一次像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記第1面の二次像を縮小倍率で第2面上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1結像光学系は、第1面側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第2レンズ群とを有し、前記第2結像光学系は、凹面状に形成された表面反射面を有し且つ中央に第1の光通過部を有する主鏡と、中央に第2の光通過部を有する反射面を備えた副鏡と、該副鏡の前記主鏡側に隣接して配置されて負の屈折力を有するレンズ成分とを有し、前記一次像からの光が前記主鏡の前記第1の光通過部および前記レンズ成分を介して前記副鏡で反射され、前記副鏡で反射された光が前記レンズ成分を介して前記主鏡で反射され、前記主鏡で反射された光が前記レンズ成分および前記副鏡の前記第2の光通過部を介して前記第2面上に前記二次像を形成し、前記反射屈折結像光学系を構成する
- 15
- 20
- 25 すべての屈折光学部材は同じ屈折率を有する光学材料により形成されている。

上記反射屈折結像光学系では、第1結像光学系を介して、第1面（物体面）の一次像すなわち中間像を形成する。そして、中間像の形成位置の近傍に、凹面状に形成された表面反射面を有し且つ中央に第1の光通過部（中央開口部）を有する主鏡を配置して、この主鏡の中央開口部の
5 径を小さく抑えることにより、中心遮蔽率を小さく抑えて結像性能の低下を回避している。さらに、第2面（像面）の近傍に、中央に第2の光通過部（中央開口部）を有する反射面を備えた副鏡と、その主鏡側に隣接して配置されたレンズ成分とを配置して、この副鏡の中央開口部を第2面に近づけることのできる構成を採用することにより、中心遮蔽率を
10 小さく抑えて結像性能の低下を回避している。

前述したように、本発明の光学系を投影露光装置の投影光学系に適用する場合、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の高解像を得るには、波長が $180\ \text{nm}$ 以下の露光光を使用する必要がある。したがって、第1発明では、反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材を、同じ屈折率を有する光
15 学材料によって、例えば F_2 レーザ光を十分な透過率で透過させることのできる単一の硝材によって形成している。また、副鏡の主鏡側に隣接して配置されるレンズ成分の屈折力を負屈折力にすることにより、1次の色収差補正を良好に行なうことができる。

第2発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の一次像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記第
20 1面の二次像を縮小倍率で第2面上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1結像光学系は、第1面側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第2レンズ群とを有し、前記第2結像光学系
25 は、凹面状に形成された表面反射面を有し且つ中央に第1の光通過部を有する主鏡と、中央に第2の光通過部を有する反射面を備えた副鏡と、

該副鏡の前記主鏡側に隣接して配置されたレンズ成分とを有し、前記一次像からの光が前記主鏡の前記第1の光通過部および前記レンズ成分を介して前記副鏡で反射され、前記副鏡で反射された光が前記レンズ成分を介して前記主鏡で反射され、前記主鏡で反射された光が前記レンズ成分および前記副鏡の前記第2の光通過部を介して前記第2面上に前記二次像を形成し、前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折面および反射面のうちの少なくとも1つの面は非球面形状に形成されている。

上記反射屈折結像光学系では、反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折面および反射面のうち少なくとも1つの面を非球面形状に形成している。この構成により、主鏡や副鏡を実現可能な大きさに抑えつつ、十分な結像性能を有する光学系を達成している。

以上説明した第1及び第2発明の反射屈折結像光学系によれば、たとえば F_2 レーザ光のように波長が180 nm以下の光を用いた場合にも、特に主鏡の大型化を招くことなく、所要の大きさの像側NAおよびイメージサークルを確保することができ、たとえば0.1 μ m以下の高解像を達成することのできる反射屈折結像光学系を少ないレンズ枚数で実現することができる。

なお、本発明（第1発明および第2発明）の光学系において、副鏡に隣接して配置されたレンズ成分の屈折面上に副鏡の反射面を設けて、副鏡とレンズ成分とで裏面反射鏡を構成することが好ましい。この構成により、副鏡の保持機構を第2面側へ突出させることなく、副鏡を、ひいてはその中央開口部をさらに第2面に近づけることができる。その結果、副鏡の中央開口部の径を、ひいては中心遮蔽率をさらに小さく抑えて、結像性能の低下をさらに良好に回避することができる。

また、本発明の光学系においては、副鏡の反射面が主鏡側に凹面を向けた形状に形成されていることが好ましい。この構成により、主鏡の径

を大きくすることなく、中心遮蔽率をさらに小さく抑えることができる。

また、本発明の光学系においては、副鏡に隣接して配置されたレンズ成分の主鏡側の屈折面が主鏡側に凹面を向けた形状に形成されていることが好ましい。この構成により、良好な色収差補正を達成することができる。

また、良好な色収差補正を達成するためには、以下の条件式（１）を満足することが好ましい。

$$0.03 < D / |R| < 1.0 \cdots (1)$$

ここで、Rは、副鏡に隣接して配置されたレンズ成分の主鏡側の屈折面の曲率半径である。また、Dは、副鏡の有効径である。

条件式（１）の上限値を上回ると、コマ収差および球面収差の高次収差が発生し、大きな開口数を実現することができなくなるので好ましくない。一方、条件式（１）の下限値を下回ると、副鏡を実現可能な大きさに保ったまま色収差を良好に補正することができなくなるので好ましくない。なお、条件式（１）の上限値を0.5とし、下限値を0.07とすることにより、色収差と他の諸収差とを同時にさらに良好に補正することが可能となる。

ところで、露光波長が180nm以下になると、レンズ成分の表面に施される反射防止コート用の膜材料は限られる。その結果、反射防止コートとして十分な性能を得ることができなくなるため、レンズ面のような透過面の数を極力少なくする必要がある。そこで、本発明においては、主鏡と副鏡との間の光路中に配置される屈折光学部材が副鏡に隣接して配置されたレンズ成分のみであることが好ましい。この構成により、レンズ枚数（ひいては透過面の数）の削減を達成し、光学系の透過率を向上させることができる。ただし、この構成は、副鏡と第2面との間の光路中に平行平板などを配置することを妨げるものではない。

また、本発明の光学系では、第2結像光学系中の屈折面および反射面のうちの少なくとも1つの面を非球面形状に形成することにより、主鏡および副鏡の大型化、並びに中心遮蔽率の増大を避けることが可能となり、結果として十分な結像性能を有し且つ実現可能な光学解を提供することができる。

また、本発明の光学系では、第1結像光学系中の屈折面のうちの少なくとも1つの面を非球面形状に形成することにより、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の高解像を実現しつつ、レンズ枚数の削減を達成して光学系の透過率をさらに向上させることができる。

さらに、第2発明の光学系では、第2結像光学系中の屈折面および反射面のうちの少なくとも1つの面が非球面形状に形成され、第1レンズ群および第2レンズ群の各々が少なくとも1つの非球面形状の屈折面を有することが好ましい。この構成により、反射屈折結像光学系を構成するレンズ枚数を削減することができ、波長が 180nm 以下の光を露光光として用いることが可能となる。

また、本発明の光学系では、反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズのうちの少なくとも80%のレンズは、一方の屈折面が非球面形状に形成され且つ他方の屈折面が球面形状に形成された片側非球面レンズであることが望ましい。この構成により、光学系の大きさ、結像性能、透過率、照射熱による収差変動等を考慮した上で、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の高解像を有する理想的な光学系を実現することができる。また、いわゆる片側非球面レンズを用いることにより、球面形状のレンズ面を基準として非面状のレンズ面との偏芯を容易に調整することが可能である。

さらに、本発明の光学系では、反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材を螢石で形成することにより、例えば F_2 レーザ光(157nm)のような波長が 180nm 以下の露光光を使用することが可

能となり、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の高解像を実現することができる。

また、本発明の光学系では、反射屈折結像光学系を第1面側および第2面側にテレセントリックな光学系に構成することが好ましい。このように、反射屈折結像光学系を両側テレセントリックに構成することにより、第1面に配置されるマスクや第2面に配置されるウエハなどの光軸方向のずれによる像歪みを無視することのできる微小量に抑えることができる。加えて、第1レンズ群の後側焦点位置の近傍に開口絞りを配置することにより、各視野の開口数が互いに同一となる理想的な両側テレセントリック光学系を実現することができる。

10 また、本発明においては、次の条件式(2)を満足することが望ましい。

$$0.7 < |\beta_1 / \beta_2| < 3.5 \dots (2)$$

ここで、 β_1 は第1結像光学系の結像倍率であり、 β_2 は第2結像光学系の結像倍率である。

15 条件式(2)は、第1結像光学系の結像倍率 β_1 と第2結像光学系の結像倍率 β_2 との比 β_1 / β_2 について適切な範囲を規定している。条件式(2)を満足することにより、第1結像光学系のレンズ成分によって発生する収差と、第2結像光学系の反射鏡等で発生する収差とをバランス良く相殺(キャンセル)することができ、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下の高解像
20 を実現することができる。但し、中間像が屈折光学部材中に形成される場合、その屈折光学部材は第1結像光学系に属するものとする。

条件式(2)の上限値を上回ると、第2結像光学系で発生する収差が大きくなり、特に球面収差、コマ収差、色収差の良好な補正が困難となるので好ましくない。一方、条件式(2)の下限値を下回ると、第1結
25 像光学系で発生する収差が大きくなり、全長の大型化を避けることができなくなるので好ましくない。なお、光学系のさらなる小型化と十分な

結像性能の達成とを考慮すると、条件式(2)の上限値を2.5とし、
下限値を0.85とすることが望ましい。また、投影露光装置の投影光
学系に適用する場合には、全系の結像倍率($\beta_1 \times \beta_2$)を0.12～
0.33の範囲に設定することにより、マスクの大きさや精度を実現可
5 能な範囲に設定することができる。

第3発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の中間像を形成するた
めの屈折型の第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第
1面の最終像を縮小倍率で第2面上に形成するための反射屈折型の第2
結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1結像光学
10 系は、前記第1面側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、開口絞りと、
正屈折力の第2レンズ群とを有し、前記第2結像光学系は、中央部に第
1光通過部を有する負屈折力の第1反射面からなる主鏡と、中央部に第
2光通過部を有する第2反射面からなる副鏡と、前記第1反射面及び前
記第2反射面から離間されている屈折部材とを有し、前記第1結像光学
15 系からの光が前記主鏡の前記第1光通過部と前記屈折部材とを介して前
記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記屈折部
材を介して前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光
が前記屈折部材と前記副鏡の前記第2光通過部とを介して前記第2面上
に最終像を形成する。

20 上記反射屈折結像光学系では、第1結像光学系の第1レンズ群と第2
レンズ群とを介して、第1面の中間像(1次像)を形成する。そして、
中間像の形成位置の近傍に、中央に第1光通過部(中央開口部)を有し、
且つ負屈折力(すなわち凹面状)の第1反射面を有する主鏡を配置して、
この主鏡の中央開口部の径を小さく抑えることにより、中心遮蔽率を小
25 さく抑えて結像性能の低下を回避している。さらに、第2面(ウエハ面、
即ち最終像面)近傍に、第2光通過部(中央開口部)を有する副鏡とそ

の主鏡側に離間して屈折部材とを配置して、この副鏡の中央開口部を第2面に近づけることができる構成を採用し、副鏡を出来る限り光軸方向に薄い構成とすることで、中心遮蔽率を小さく抑えて結像性能の低下を回避している。

- 5 上記第3発明の反射屈折結像光学系によれば、たとえば F_2 レーザ光のように波長が180nm以下の光を用いた場合にも、特に主鏡の大型化を招くことなく、所要の大きさの像側NAおよびイメージサークルを確保することができ、たとえば0.1 μ m以下の高解像を達成することのできる反射屈折結像光学系を少ないレンズ枚数で実現することができる。
- 10 。

また、第3発明の光学系では、前記屈折部材は負の屈折力を有し、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$-85 < f_1 / d_1 < -10 \dots (3)$$

- ここで、 f_1 は前記屈折部材の焦点距離、 d_1 は前記副鏡と前記屈折部材との光軸に沿った間隔をそれぞれ表している。条件式(3)は色収差を良好に補正するための条件を規定している。条件式(3)の上限値を上回ると、各波長ごとの像面湾曲のズレが大きくなり良好な色収差補正ができなくなる。また、色コマ収差等の高次収差も発生してしまうので好ましくない。逆に、条件式(3)の下限値を下回ると、1次の色収差が補正不足となり好ましくない。なお、条件式(3)の下限値を-75とし、上限値を-20とすることにより、広い波長域に対してさらに良好に色収差補正を行なうことができる。
- 15 。
- 20 。

- また、第3本発明の光学系では、前記屈折部材は、前記第2面側に凹面を向けた屈折面を有することが好ましい。さらに好ましくは、前記屈折部材はメニスカス形状であることが望ましい。この場合、屈折部材の第1面側の屈折面及び第2面側の屈折面においては、主鏡で反射された
- 25 。

後に第2面へ向う光束の入射角及び射出角を比較的小さくでき、大きな開口数の光束を第2面上へ導く場合であっても、これらの屈折面での高次収差発生を抑えることが可能となる。また、前記屈折部材は、前記第2面側の屈折面が前記第1面側の屈折面よりも大きな負の屈折力を有することが好ましい。この場合、光線レンズへの入射角及び射出角を小さくすることができ、高次収差の発生を防ぐことができる。

また、第3本発明の光学系は以下の条件式(4)を満足することが好ましい。

$$0.6 < |\beta 1 / \beta 2| < 3.5 \dots (4)$$

ここで、 $\beta 1$ は前記第1結像光学系の結像倍率、 $\beta 2$ は前記第2結像光学系の結像倍率をそれぞれ表している。条件式(4)は第1結像光学系の結像倍率と第2結像光学系の結像倍率との適切な比を規定している。条件式(4)を満足することで、第1結像光学系のレンズ成分により発生する収差と、第2結像光学系の反射鏡等で発生する収差とをバランス良く相殺(キャンセル)することができ、 $0.1 \mu\text{m}$ 以下の高解像を実現できる。但し、中間像が屈折光学部材中に形成される場合、その屈折光学部材は第1結像光学系に属するものとする。

条件式(4)の上限値を上回ると、第2結像光学系で発生する収差が大きくなり、特に球面収差、コマ収差、色収差の良好な補正が困難となるので好ましくない。一方、条件式(4)の下限値を下回ると、第1結像光学系で発生する収差が大きくなり、全長の大型化を避けることができなくなるので好ましくない。なお、光学系のさらなる小型化と十分な結像性能の達成とを考慮すると、条件式(4)の上限値を2.5とし、下限値を0.85とすることが望ましい。また、投影露光装置の投影光学系に適用する場合には、全系の結像倍率($\beta 1 \times \beta 2$)を0.12～0.33の範囲に設定することにより、マスクの大きさや精度を実現可

能な範囲に設定することができる。

- また、第4発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の中間像を形成するための第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を縮小倍率で第2面上に形成するための第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1及び第2結像光学系のうちの一方は、中央部に第1光通過部を有する負屈折力の第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2光通過部を備える第2反射面を備える副鏡とを有し、前記主鏡及び前記副鏡は、前記第1光通過部へ向かう光が前記第1光通過部を介して前記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光が前記副鏡の前記第2光通過部を通過するように位置決めされ、前記反射屈折結像光学系は、前記第1及び第2反射面で反射されずに前記第2面へ向かう光を遮蔽するための中心遮蔽部材と、開口径が可変に構成された可変開口絞りとを備え、前記中心遮蔽部材と前記開口絞りとは、
- 15 前記反射屈折結像光学系の光軸方向で互いに異なる位置に配置される。

- 第4発明の光学系では、近軸瞳位置（近軸主光線が光軸と交差する位置）の近傍に中心遮蔽部材を配置することによって、全ての像高（物体高）の光束に関する不要光を効果的に遮光することができる。そして、中心遮蔽部材とは異なる光軸方向の位置に可変開口絞りを配置することにより、可変開口絞りの機械構造と中心遮蔽部材を保持する機構との機械的干渉を避けやすくすると共に、可変開口絞りの開口径を変化させた場合に全ての像高（物体高）における口径食の影響、即ちあらゆる像高（物体高）における光束間の開口数の差を実用上十分に抑えることができる。

- 25 ここで、可変開口絞りと中心遮蔽部材とを同じ位置に配置した場合には、可変開口絞りと中心遮蔽部材との機械的な干渉を招くばかりか、可

変開口絞りの開口径を変化させた際に像高（物体高）の違いによる開口数の差を生じるため好ましくない。このとき、像高（物体高）の違いによる開口数の差を防ぐためには、瞳の像面湾曲を完全に補正することが考えられるが、この場合には全長の長大化やレンズ枚数の増加などの反射屈折結像光学系の複雑化を招くため好ましくない。

また、第4発明の光学系において、前記第1結像光学系は、前記第1面側から順に正屈折力の第1レンズ群と前記可変開口絞りと正屈折力の第2レンズ群とを備え、前記第2結像光学系は、前記主鏡及び前記副鏡とを備え、前記中心遮蔽部材は、前記第1結像光学系中に配置されるものとできる。

上記光学系でも、第1結像光学系において、主鏡及び副鏡を含む第2結像光学系に供給される全ての像高の光束に関する不要光を効果的に遮光することができ、可変開口絞りの機械構造と中心遮蔽部材を保持する機構との機械的干渉を避けやすくすると共に、可変開口絞りの開口径を変化させた場合に全ての像高（物体高）における口径食の影響を実用上十分に抑えることができる。なお、上記構成において、可変開口絞りは、中心遮蔽部材と第1レンズ群との間に配置されることが好ましい。これにより、可変開口絞りの開口径を変化させた際の開口数の差をあらゆる像高（物体高）においてほぼ一様にできる。

また、第5発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を縮小倍率で第2面上に形成するための第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1結像光学系は、前記第1面側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、開口絞りと、正屈折力の第2レンズ群とを有し、前記第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有し且つ負屈折力の第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2

光通過部を有する第2反射面を備える副鏡とを有し、前記第2結像光学系へ入射する光が前記主鏡の前記第1光通過部を介して前記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光が前記副鏡の前記第2光通過部を介して前記第2面上に前記最終像を形成し、前記反射屈折結像光学系が有する屈折部材は、前記第1面と前記第2面との間の光路のうち、前記第1光通過部と前記第2光通過部との間を除いた部分にのみ配置される。

第5発明の光学系では、第1結像光学系により中間像を形成し、中間像の形成位置の近傍に、中央部に第1光通過部（中央開口部）を有し且つ負屈折力の第1反射面を備える主鏡を配置することで、この主鏡の中央開口部を小さくし、中心遮蔽率が大きくなって結像性能が劣化することを回避できる。さらに、第2面（像面）近傍に、中央部に第2光通過部（中央開口部）を有する第2反射面を備えた副鏡を配置して、光軸方向に薄い構造をとすることで、上記同様に中心遮蔽率が大きくなって結像性能が劣化することを回避できる。この際、主鏡側の中央開口部と副鏡側の中央開口部との間を除いた部分にのみ屈折部材を配置する。つまり、主鏡や副鏡が屈折部材の裏面反射を利用したものでなくなるので、裏面反射による比較的大きな照射熱の吸収によって屈折部材の面形状が変化して結像性能が劣化することを簡易かつ効果的に防止できる。また、主鏡と副鏡との間に屈折部材を配置する必要がなくなり、遮光率を小さくするために比較的直径が大きくならざるを得ない主鏡や副鏡にともなう屈折部材が大型化することを簡易に防止できる。さらに、主鏡と副鏡との間に配置された屈折部材の屈折面で透過できずに反射する光が迷光となって、コントラスト低下、ゴーストの発生等、結像性能を悪化させることを簡易に回避することができる。

以上説明した第5発明の反射屈折結像光学系によれば、たとえば F_2

レーザ光のように波長が180nm以下の光を用いた場合にも、特に主鏡の大型化を招くことなく、所要の大きさの像側NAおよびイメージサークルを確保することができ、たとえば0.1μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折結像光学系を少ないレンズ枚数で実現することができる。

また、第5発明の光学系では、前記中間像と前記第1反射面との間の光路中であって、かつ前記第1光通過部と前記第2光通過部との間を除いた光路に配置された色収差補正レンズをさらに備えるものとできる。この光学系では、直径の小さな色収差補正レンズによって結像性能を劣化させることなく色収差を補正することができる。

また、第5発明の光学系は以下の条件式(5)を満足することが好ましい。

$$-1.10 < f_2 / |d_2| < -0.15 \dots (5)$$

ここで、 f_2 は前記中間像と前記第1反射面と間に配置された前記色収差補正負レンズの焦点距離、 d_2 は前記第1反射面と前記第2反射面との距離をそれぞれ表している。条件式(5)の下限値を下回ると色収差補正負レンズのパワーが小さくなり良好な色収差補正を実現することが困難となる。逆に、条件式(5)の上限値を上回ると他の収差を発生させることになり、色収差補正負レンズ自体の製造が困難となる。なお、条件式(5)の上限値を-0.25とし、下限値を-0.70とすることにより、光学系を大きくすることなく、イメージフィールド全域で良好な色収差補正を実現することができる。

また、第5発明の光学系では、前記第1レンズ群の後側焦点位置近傍に、前記第2結像光学系の中心に入射する光を遮断する中心遮蔽部材が配置されることも可能である。

上記光学系では、第1結像光学系に設けた中心遮蔽部材によって、主

鏡及び副鏡を含む第2結像光学系に供給される全ての像高の光束に関する不要光を効果的に遮光することができる。

また、第5発明の光学系では、前記第1レンズ群は瞳の像面湾曲を有し、前記中心遮蔽部材と前記開口絞りとは前記第1結像光学系の光軸方向で離れた位置に配置されることも可能である。

上記光学系では、可変開口絞りの機械構造と中心遮蔽部材を保持する機構との機械的干渉を避けやすくすることができる。さらに、第1レンズ群の後側焦点位置に中心遮蔽部材、そこから瞳の像面湾曲分離れた位置に開口絞りを配置することで、結像性能をイメージフィールド全域で均一なものとすることができる。すなわち、全ての画角に対して遮蔽部分の面積及び位置を同一にすることができ、可変開口絞りの開口径を変化させた場合にも、全ての像高における中心遮蔽部材による口径食の影響を十分に低減することができる。

また、第5発明の光学系では、前記第1面側及び前記第2面側ともにテレセントリック光学系であることも可能である。

上記光学系では、第1面及び第2面の移動やたわみなど、光軸方向の微少なずれに起因する像歪みの影響を無視できる程度の量に低減できる。

また、第5発明の光学系は、10以上の屈折面を有し、当該屈折面のうち、少なくとも5面が非球面形状を有するものとする。

上記光学系では、屈折レンズの数を少なくでき、明るく、損失が少なく、発熱によって収差変動が生じにくい。すなわち、露光波長が180nm以下となると、屈折レンズの表面に施される反射防止コート用の膜材料は限られ、反射防止コートとして十分な性能が得られない。このため透過面は極力少なくする必要がある。上記のように10以上の屈折面のうち少なくとも5面を非球面形状とすることで、0.1μm以下の解像を実現しつつ、屈折レンズの数を極端に少なくすることができる。

また、第5発明の光学系は以下の条件式(6)、(7)を満足することが好ましい。

$$0.15 < |\beta / \beta_3| < 0.95 \dots (6)$$

$$0.10 < |\beta / \beta_4| < 0.50 \dots (7)$$

- 5 ここで、 β は前記反射屈折結像光学系の全系の結像倍率、 β_3 は前記第1反射面の結像倍率、 β_4 は前記第2反射面の結像倍率を表す。

- 条件式(6)、(7)の下限値を下回ると、第1結像光学系で倍率を負担する割合が増大し、第1結像光学系を構成するレンズ径が大きくなってしまふ。一方、条件式(6)、(7)の上限値を下回ると、中間像
10 が大きくなって、中心遮蔽が大きくなるという問題や第2面側の動作距離を十分にとれないという問題が生じ、さらに良好な結像性能も得られなくなる。なお、条件式(6)の上限値を0.8とし下限値を0.3とし、条件式(7)の上限値を0.28とし下限値を0.13とすることにより、より良好な結像性能で動作距離が十分に大きな光学系を実現で
15 きる。

また、第5発明の光学系は、前記反射屈折結像光学系を構成する屈折部材が、前記第1面と前記第1光透過部との間の光路中にのみ配置されるものとできる。

- 上記光学系では、第1反射面から第2面に至る光路中に屈折部材が存在しないので、主鏡と副鏡との間、さらに副鏡と第2面と間に屈折部材
20 を配置する必要がなくなり、屈折部材の屈折面で反射する光が迷光となって結像性能を悪化させることを、より確実に回避することができる。

また、第5発明の光学系は以下の条件式(8)を満足することが好ましい。

- 25 $0.04 < |d_3 / d_2| < 0.08 \dots (8)$

ここで、 d_2 は前記第1反射面と前記第2反射面との距離、 d_3 は前記

第2反射面と前記第2面との距離を表す。

条件式(8)の下限値を下回ると、副鏡を大きくすることなく第2面側の動作距離を十分に大きくとることができなくなる。一方、条件式

(8)の上限値を下回ると、中心遮蔽が大きくなって良好な結像性能を持った光学系が達成できなくなる。なお、条件式(8)の上限値を0.065を-0.3とし、条件式(8)の下限値を0.043とすることが望ましい。

また、第5発明の光学系は、前記第2結像光学系が、前記第1結像光学系による中間像の像を前記第2面上に前記最終像として形成するものとできる。

また、第5発明の光学系は、前記主鏡の前記第1光通過部と前記副鏡の前記第2光通過部とが、前記反射屈折結像光学系の光軸を含む位置に配置されるものとできる。

また、第6発明に係る反射屈折結像光学系は、第1面の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、該中間像からの光に基づいて前記第1面の縮小像を第2面上に形成するための第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、前記第1結像光学系は、開口絞りと、該開口絞りと前記第1面との間に配置された第1レンズ群と、前記開口絞りと前記中間像との間に配置された第2レンズ群とを有し、前記第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有する第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2光通過部を有する第2反射面を備える副鏡とを有し、前記第1反射面は、負パワーの表面反射面であり、前記第2反射面は、負パワーを有し、前記第2結像光学系は、前記第2光学系へ入射する光が前記主鏡の前記第1光通過部を介して前記副鏡の第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光が前記副鏡の前記第2光通過部を介して前記

第2面へ達するように構成される。

第6発明の光学系では、中間像の形成位置の近傍に主鏡を配置することで、この主鏡の中央部に設けた第1光通過部を小さくし、中心遮蔽率が大きくなって結像性能が劣化することを回避できる。さらに、第2面
5 近傍に副鏡を配置して光軸方向に薄い構造をとすることで、上記同様に中心遮蔽率が大きくなって結像性能が劣化することを回避できる。この際、主鏡側の前記第1反射面が負パワーの表面反射面であり、屈折部材の裏面反射を利用したものでなくないので、屈折部材における裏面反射による照射熱の吸収によって結像性能が劣化することを簡易かつ効果的に防止できる。また、遮光率を小さくするために比較的直径が大きくな
10 らざるを得ない主鏡のために大型の屈折部材を用意する必要がなくなる。さらに、主鏡を裏面反射鏡にした場合のように屈折部材の屈折面で透過できずに反射する光が迷光となって、コントラスト低下、ゴーストの発生等、結像性能を悪化させることを簡易に回避することができる。

15 以上説明した第6発明の反射屈折結像光学系によれば、たとえば F_2 レーザ光のように波長が180nm以下の光を用いた場合にも、特に主鏡の大型化を招くことなく、所要の大きさの像側NAおよびイメージサークルを確保することができ、たとえば0.1 μ m以下の高解像を達成することのできる反射屈折結像光学系を少ないレンズ枚数で実現すること
20 ができる。

また、第6発明の光学系では、前記第2結像光学系は、前記第1反射面と前記第2反射面との間の光路中に配置された屈折部材を有するものとできる。

上記光学系では、屈折部材を利用して例えば第1結像光学系の色収差
25 を補正するなど各種収差を抑えることができ、結像性能をさらに向上させることができる。

また、第6発明の光学系は、前記第2結像光学系中の前記屈折部材の一方の光学面には負屈折力を有するレンズ面が設けられ、他方の光学面には前記第2反射面が設けられるものとできる。

上記光学系では、縮小像の形成される第2面を副鏡の第2光通過部に
5 近づけつつも像側に十分な動作距離（ワークディスタンス）を簡易に確保することができる。

また、第6発明の光学系は、前記第2結像光学系中の前記屈折部材の前記副鏡側の光学面と前記副鏡の前記第2反射面とは離間しているものとできる。

10 この場合、第2結像光学系で裏面反射を利用することがなくなるので、熱エネルギーの吸収を低減しつつ屈折部材による色収差等の補正が可能になり、結像性能の向上を図ることができる。

また、第6発明の光学系は、前記反射屈折結像光学系を構成する屈折部材は、前記第1面と前記第2面との間の光路のうち、前記第1光通過
15 部と前記第2光通過部との間を除いた部分にのみ配置されるものとできる。

この場合、主鏡及び副鏡が屈折部材の裏面反射を利用したものでなくなるので、裏面反射による比較的大きな照射熱の吸収によって屈折部材の面形状が変化して結像性能が劣化することを簡易かつ効果的に防止で
20 きる。また、主鏡と副鏡との間に屈折部材を配置する必要がなくなり、遮光率を小さくするために比較的大きくならざるを得ない主鏡や副鏡にともなって屈折部材が大型化することを簡易に防止できる。さらに、主鏡と副鏡との間に配置された屈折部材の屈折面で透過できずに反射する光が迷光となって、コントラスト低下、ゴーストの発生等、結像
25 性能を悪化させることを簡易に回避することができる。

また、第7発明に係る光学装置は、第1面と第2面とを互いに光学的

- に共役にする結像光学系と、前記第2面に対する基板の位置を光電的に検出する基板位置検出系とを備えた光学装置において、前記結像光学系は、中央部に第1光通過部を有する負屈折力の第1反射面からなる主鏡と、該主鏡と前記第2面との間に配置されて中央部に第2光通過部を有する第2反射面と表面に該第2反射面を設けた母材とからなる副鏡とを有し、前記基板位置検出系は、前記副鏡の前記母材を通過させた後に、前記第2光通過部を前記第2面へ投影した領域である検出領域へ検出光を導く送光系と、前記検出領域での反射光を前記副鏡の前記母材を通過させた後に光電変換部へ導く受光系とを備える。
- 10 第7発明の光学装置においては、中心遮蔽率を小さくするためには副鏡を第2面近傍に位置することが必要となるが、副鏡は表面反射鏡であるので光軸方向に厚さを有し、実質的な像側の作動距離、即ち第2面と副鏡の母材との間隔は、従来の投影光学系に比較して小さくする必要がある。このため、第2面の位置を検出する場合に、従来から使用されている斜入射方式の焦点検出を行うことは困難となる。なお、上記のよう
- 15 な斜入射方式の焦点検出を行う光学装置の例が、特開平6-66543号公報、特開平8-219718号公報、特開平9-304016号公報、又は特開平10-82611号公報に開示されている。本発明の構成では、基板位置検出系の送光系は、副鏡の母材の側面から検出光を導き、且つ母材の側面から射出する検出光を検出領域へ導くように構成されることが望ましい。また、基板位置検出系の受光系は、検出領域にて反射された光を副鏡の母材の側面を介して母材の内部へ導き、且つ母材の側面から射出する光を光電変換部へ導くように構成されることが好ましい。この構成において、副鏡の母材の内部を進行する光が、副鏡の第
- 20 1面側の面と第2面側の面とで反射されるように導かれることが好ましい。また、この構成において、検出光及び検出領域での反射光が通過す
- 25

る母材の側面は平面状に形成されることが好ましい。この光学装置の構成によれば、精度の高い焦点位置合わせが可能となる。

また、第7発明の光学装置を組み込んだ投影露光装置は、所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記第1面上
5 に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上に投影するための上記光学装置とを備えている。この投影露光装置によれば、精度の高い焦点位置合わせによって高精度の露光が可能になる。

また、第7発明の光学装置を利用した露光方法は、前記照明光により
10 所定のパターンが形成されたマスクを照明する工程と、上記光学装置を用いて、前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上へ投影する工程とを含む。この露光方法によれば、精度の高い焦点位置合わせによって高精度の露光が可能になる。

15 また、以上説明した第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材は、蛍石から形成されているものとできる。これにより、例えばF₂レーザ光（157 nm）のような波長が180 nm以下の露光光を使用することが可能となり、0.1 μm以下の高解像を実現することができる。

20 また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記第1結像光学系中の前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間の光路中には、入射光束のうち光軸を中心とする一部の光束を遮るための遮蔽部材が配置されているものとできる。第1～5発明の光学系においては、中央に開口部を有する2つの反射面（主鏡の反射面および副鏡の反射面）が設けられ
25 ているので、第1面から光軸上を進む光は、この2つの反射面で反射されることなく、中央開口部を介して直接第2面に到達する迷光となって

しまう。そこで、第1結像光学系中の第1レンズ群と第2レンズ群との間の光路中に（たとえば開口絞りの近傍に）、入射光束のうち光軸を中心とした一部の光束を遮るための遮蔽部材を配置することにより、上述の迷光を除去することができる。また、この構成により、各視野で光束

5 の中心遮蔽部分を同一とすることができ、視野内で結像性能が変化するのが有効に回避することができる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記一次像の形成位置の近傍に配置された視野絞りをさらに備えているものとできる。これにより、露光領域以外の領域に向かう不要光が第2面上に到達するのを

10 防ぐとともに、第1結像光学系中で発生したフレアー等の迷光が第2面上に到達するのを防ぐことができる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記反射屈折結像光学系は、前記第2面上に直径10mm以上のイメージサークルを有するものとできる。これにより、投影露光装置の投影光学系に適用した場合、

15 大きな露光領域に対して一括露光をすることが可能となり、スループットの向上にもつながる。なお、本発明において、反射屈折結像光学系のイメージサークルとは、当該反射屈折結像光学系の像面上において収差が補正されている領域を指している。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記第2結像光学系

20 中の前記主鏡は、線膨張係数 $3\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の物質で形成されているものとできる。第1～5発明の光学系においては、主鏡の有効径が大きくなり屈折力も大きくなるため、露光光の照射熱による主鏡の反射面（具体的には、第1、2発明の光光学系の表面反射面、或いは第3、4の第1反射面）の面変化が結像性能に大きく影響する。そこで、主鏡の

25 反射面を支持する基盤を、線膨張係数 $3\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の物質で形成することにより、主鏡の反射面の面変化に起因する露光中の結像性能の劣

化を防ぐことができる。なお、 $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の線膨張係数を有する物質として、たとえばコーニング社から市販されているULE（登録商標）と称する物質を使用することができる。ULE（Ultra Low Expansion Titanium Silicate Glass：超低膨張チタニウム珪酸ガラス）は、 $\alpha = 5 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C} = 0.05 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の線膨張係数を有する（Applied Optics, Vol.24, p3330 (1985); Vol.23, p2852, p3014 (1984) を参照）。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記第1結像光学系中の前記第1レンズ群の後側焦点位置の近傍に、光束断面内における第1の領域を通過する光束と、前記光束断面内における前記第1の領域とは異なる第2の領域を通過する光束とに対して相対的に強度差、位相差および偏光状態の差のうちの少なくとも1つを与えるための光学素子が配置されているものとできる。これにより、反射屈折結像光学系の焦点深度を深くすることができる。ここで、光束に強度差を付与するための光学素子（遮光フィルター）では、たとえば中心の光束を遮光または減光し且つ周辺の光束を透過させる。また、光束に位相差を付与するための光学素子（位相フィルター）では、たとえば中心の光束と周辺の光束との間で位相差をつける。さらに、光束に偏光状態の差を付与するための光学素子（偏光フィルター）では、たとえば中心の光束の偏光方向と周辺の光束の偏光方向とを直交させる。なお、投影露光装置の投影光学系の瞳位置に遮光フィルターを配置した例が、特開平5-234846号公報および特開平5-234847号公報に開示されている。また、投影露光装置の投影光学系の瞳位置に位相フィルターを配置した例が、特開平6-215999号公報および特開平6-244082号公報に開示されている。さらに、投影露光装置の投影光学系の瞳位置に偏光フィルターを配置した例が、特開平6-120110号公報に開示されて

いる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材、前記主鏡および前記副鏡は、単一の光軸に沿って配置されているものとできる。これにより、従来の直筒型の屈折系の延長線上の技術により鏡筒設計および製造を行うことが可能になり、製造の困難性を伴うことなく高精度化を図ることができる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズ成分の枚数は、10枚以下とできる。これにより、たとえば波長が180nm以下の露光光を用いて感光性基板上に極微細なパターンを投影する際に、透過率の低下を抑えて、光量損失を低減することができる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系では、前記第1結像光学系は、前記光軸の方向において前記開口絞りとは異なる位置に配置されて前記光軸近傍の光を遮断する中心遮蔽部材を有する。これにより、光軸に沿って直進する上記迷光を除去することができる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系を組み込んだ投影露光装置は、紫外領域の照明光により所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を感光性基板上に投影するための上記反射屈折結像光学系とを備えている。この投影露光装置によれば、波長が例えば180nm以下の露光光を用いて感光性基板上に極微細なパターンを投影することができ、高精度の露光が可能になる。また、露光光源として比較的簡単な狭帯域化を施したF₂レーザを使用することができるので、大きな露光パワーを得ることができる。さらに、レーザ光源のメンテナンスコストも安くなるので、レーザ光源に掛かるコストが低く且つ高い生産性を有する投影露光装置を実現することができる。

上記投影露光装置は、前記マスクを所定の走査方向に沿って可動となるように支持する第1ステージと、前記感光性基板を所定の走査方向に沿って可動となるように保持する第2ステージとをさらに備え、前記第1及び第2ステージを前記反射屈折結像光学系に対して移動させつつ露光を行うものとできる。この投影露光装置では、屈折結像光学系に対してマスクと感光性基板を同期して移動させる走査型の露光が可能になる。

上記投影露光装置は、前記露光を行う際に前記第1及び第2ステージが同方向へ移動するものとできる。

また、第1～5発明の反射屈折結像光学系を組み込んだ露光方法は、紫外領域の照明光を生成する工程と、前記照明光により所定のパターンが形成されたマスクを照明する工程と、上記反射屈折結像光学系を用いて、前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第2面上に配置された感光性基板上へ投影する工程とを含む。この露光方法によれば、波長が例えば180nm以下の露光光を用いて感光性基板上に極微細なパターンを投影することができ、高精度の露光が可能になる。また、露光光源として比較的簡単な狭帯域化を施したF₂レーザを使用することができるので、大きな露光パワーを得ることができる。

上記露光方法は、前記マスクと前記感光性基板とを前記反射屈折結像光学系に対して移動させつつ露光を行うものとできる。この露光方法では、屈折結像光学系に対してマスクと感光性基板を同期して移動させる走査型の露光が可能になる。

上記投影露光装置は、前記マスクと前記感光性基板とを前記反射屈折結像光学系に対して同方向へ移動させつつ露光を行うものとできる。

上記投影露光装置を用いたデバイスの製造方法は、基板上に感光性材料を塗布することによって前記感光性基板を準備する工程と、前記感光

- 性基板上に前記反射屈折結像光学系を介して前記マスクの最終像を形成する工程と、前記基板上の前記感光性材料を現像する工程と、前記現像された前記感光性材料に対応したパターンを前記基板上に形成する工程とを有する。このデバイス製造方法によれば、極微細なパターンからなる高密度かつ高精度の電子デバイス等を提供できる。

図面の簡単な説明

- 図 1 は、本発明の各実施形態にかかる反射屈折結像光学系を備えた投影露光装置の全体構成を概略的に示す。
- 10 図 2 は、第 1 実施形態の反射屈折結像光学系（投影光学系）を具体化した第 1 実施例のレンズ構成を示す。
- 図 3 は、第 1 実施例における横収差を示す。
- 図 4 は、第 2 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。
- 15 図 5 は、第 2 実施例における横収差を示す図である。
- 図 6 は、第 3 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。
- 図 7 は、第 3 実施例における横収差を示す図である。
- 図 8 は、第 4 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。
- 20 図 9 は、第 4 実施例における横収差を示す図である。
- 図 10 は、第 2 実施形態の反射屈折結像光学系（投影光学系）を具体化した第 5 実施例にかかるレンズ構成を示す図である。
- 図 11 は、第 5 実施例における横収差を示す図である。
- 25 図 12 は、第 5 実施例を変形した第 6 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。

図 1 3 は、第 6 実施例における横収差を示す図である。

図 1 4 は、第 3 実施形態の反射屈折結像光学系（投影光学系）を具体化した第 7 実施例にかかるレンズ構成を示す図である。

図 1 5 は、第 7 実施例における横収差を示す図である。

- 5 図 1 6 は、第 7 実施例を変形した第 8 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。

図 1 7 は、第 8 実施例における横収差を示す図である。

図 1 8 は、第 9 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。

- 10 図 1 9 は、第 9 実施例における横収差を示す図である。

図 2 0 は、第 4 実施形態にかかる光学装置のウエハ近傍の構成を示す図である。

図 2 1 は、図 1 8 の光学装置の変形例を示す図である。

図 2 2 は、図 1 8 の光学装置の他の変形例を示す図である。

- 15 図 2 3 は、本発明の実施形態にかかる投影露光装置を用いて所定の回路パターンを形成する場合の動作の一例を示すフローチャートである。

発明の好ましい実施形態

以下、本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

- 20 （第 1 実施形態）

図 1 は、本発明の第 1 実施形態にかかる反射屈折結像光学系を備えた投影露光装置の全体構成を概略的に示す。なお、図 1 において、投影光学系を構成する反射屈折結像光学系 8 の光軸 A X に平行に Z 軸を、光軸 A X に垂直な面内において図 1 の紙面に平行に X 軸を、紙面に垂直に Y 軸を設定している。

図示の投影露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源とし

て、たとえばF₂レーザ（発振中心波長157.6nm）を備えている。光源1から射出された光は、照明光学系2を介して、所定のパターンが形成されたマスク3を均一に照明する。

なお、光源1から照明光学系2までの光路には、必要に応じて光路を
5 偏向するための1つまたは複数の折り曲げミラーが配置される。また、光源1と投影露光装置本体とが別体である場合には、光源1からのF₂レーザ光の向きを常に投影露光装置本体へ向ける自動追尾ユニットや、光源1からのF₂レーザ光の光束断面形状を所定のサイズ・形状に整形するための整形光学系、光量調整部などの光学系が配置される。また、
10 照明光学系2は、例えばフライアイレンズや内面反射型インテグレートからなり所定のサイズ・形状の面光源を形成するオプティカルインテグレートや、マスク3上での照明領域のサイズ・形状を規定するための視野絞り、この視野絞りの像をマスク上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系を有する。さらに、光源1と照明光学系2との間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源1から照明光学系2中の最もマスク側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されている。

マスク3は、マスクホルダ4を介して、マスクステージ5上においてXY平面に平行に保持されている。マスク3には転写すべきパターンが
20 形成されており、パターン領域全体のうちY方向に沿って長辺を有し且つX方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）のパターン領域が照明される。

マスクステージ5は、図示を省略した駆動系の作用により、マスク面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座
25 標はマスク移動鏡6を用いた干渉計7によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

マスク 3 に形成されたパターンからの光は、反射屈折型の投影光学系 8 を介して、感光性基板であるウエハ 9 上にマスクパターン像を形成する。ウエハ 9 は、ウエハホルダ 10 を介して、ウエハステージ 11 上において X Y 平面に平行に保持されている。そして、マスク 3 上での矩形
5 状の照明領域に光学的に対応するように、ウエハ 9 上では Y 方向に沿って長辺を有し且つ X 方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。

ウエハステージ 11 は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわち X Y 平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座
10 標はウエハ移動鏡 12 を用いた干渉計 13 によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

また、図示の投影露光装置では、投影光学系 8 を構成する光学部材のうち最もマスク側に配置された光学部材（各実施例ではレンズ L11）と最もウエハ側に配置された光学部材（各実施例では副鏡）との間で投影
15 光学系 8 の内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系 8 の内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されている。

さらに、照明光学系 2 と投影光学系 8 との間の狭い光路には、マスク 3 およびマスクステージ 5 などが配置されているが、マスク 3 およびマスクステージ 5 などを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素
20 やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されている。

また、投影光学系 8 とウエハ 9 との間の狭い光路には、ウエハ 9 およびウエハステージ 11 などが配置されているが、ウエハ 9 およびウエハステージ 11 などを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されている。

25 このように、光源 1 からウエハ 9 までの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

上述したように、投影光学系 8 によって規定されるマスク 3 上の視野領域（照明領域）およびウエハ 9 上の投影領域（露光領域）は、X 方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（7、13）などを用いてマスク 3 およびウエハ 9 の位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわち X 方向に沿ってマスクステージ 5 とウエハステージ 11 とを、ひいてはマスク 3 とウエハ 9 とを同期的に移動（走査）させることにより、ウエハ 9 上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハ 9 の走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してマスクパターンが走査露光される。

- 10 本実施形態の反射屈折結像光学系からなる投影光学系 8 は、以下で具体的に説明する実施例に対応する図 2、4、6、8 を参照して説明すると、マスク 3 のパターンの一次像（中間像）I を形成するための第 1 結像光学系 K 1 と、一次像 I からの光に基づいてマスクパターンの二次像を縮小倍率で感光性基板であるウエハ 9 上に形成するための第 2 結像光学系 K 2 とから構成されている。

第 1 結像光学系 K 1 は、マスク側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G 1 と、開口絞り S と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 とから構成されている。

- 20 第 2 結像光学系 K 2 は、マスク側から順に、ウエハ側に凹面を向けた表面反射面 R 1 を有し且つ中央に開口部を有する主鏡 M 1 と、レンズ成分 L 2 と、そのウエハ側のレンズ面上に設けられ且つ中央に開口部を有する反射面 R 2 を備えた副鏡 M 2 とから構成されている。すなわち、別の観点によれば、副鏡 M 2 とレンズ成分 L 2 とは裏面反射鏡を構成し、レンズ成分 L 2 は裏面反射鏡の屈折部（屈折部材）を構成している。

- 25 なお、投影光学系 8 を構成するすべての光学要素（G 1、G 2、M 1、M 2）は単一の光軸 A X に沿って配置されている。また、主鏡 M 1 は一

次像 I の形成位置の近傍に配置され、副鏡 M 2 はウエハ 9 に近接して配置されている。

こうして、本実施形態では、マスク 3 のパターンからの光が、第 1 結像光学系 K 1 を介して、マスクパターンの一次像（中間像） I を形成する。一次像 I からの光は、主鏡 M 1 の中央開口部およびレンズ成分 L 2 を介して副鏡 M 2 で反射され、副鏡 M 2 で反射された光はレンズ成分 L 2 を介して主鏡 M 1 で反射される。主鏡 M 1 で反射された光は、レンズ成分 L 2 および副鏡 M 2 の中央開口部を介してウエハ 9 面上にマスクパターンの二次像を縮小倍率で形成する。

10 本実施形態において、投影光学系 8 を構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、露光光である F_2 レーザ光の発振中心波長は 157.6 nm であり、 157.6 nm 付近では CaF_2 の屈折率は、 $+1 \text{ pm}$ の波長変化あたり -2.4×10^{-6} の割合で変化し、 -1 pm の波長変化あたり $+2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。

したがって、中心波長 157.6 nm に対する CaF_2 の屈折率は 1.5600000 である。そして、以下に説明する第 1 実施例および第 2 実施例において、 $157.6 \text{ nm} + 10 \text{ pm} = 157.61 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5599760 であり、 $157.6 \text{ nm} - 10 \text{ pm} = 157.59 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5600240 である。また、以下の第 3 実施例および第 4 実施例において、 $157.6 \text{ nm} + 2 \text{ pm} = 157.602 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5599952 であり、 $157.6 \text{ nm} - 2 \text{ pm} = 157.598 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5600048 である。

25 また、以下に説明する各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非

球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式（a）で表される。

$$z = (y^2 / r) / \{ 1 + \{ 1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2 \}^{1/2} \} \\ + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} \\ + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} \dots (a)$$

各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に*印を付している。

〔第1実施例〕

- 10 図2は、第1実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第1実施例では、波長幅が $157.6 \text{ nm} \pm 10 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

- 15 図2の反射屈折結像光学系において、第1レンズ群G1は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL13とから構成されている。

- 20 また、第2レンズ群G2は、マスク側から順に、マスク側の面が非球面形状に形成された両凹レンズL21と、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズL22と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL23と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL24とから構成されている。

- 25 さらに、裏面反射鏡（M2、L2）の屈折部を構成するレンズ成分L2は、マスク側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ状に形成されている。また、副鏡M2の反射面R2は、マスク側に凹面を向け

た形状に形成されている。

次の表 1 に、第 1 実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。
表 1 において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NA は像側
開口数を、 ϕ はウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表して
5 いる。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面へ
の光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 r は各面の
曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上
間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞ
れ示している。

10 なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。し
たがって、面間隔 d の符号は、裏面反射面 R 2 から表面反射面 R 1 まで
の光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線
の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、
凹面の曲率半径を負としている。なお、以下の第 2 ～第 4 実施例におい
15 ても、第 1 実施例と同様の符号を用いる。

【表 1】

（主要諸元）

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 0.2500$$

20 $NA = 0.75$

$$\phi = 16.4 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

| 面番号 | r | d | n |
|-----|----------|----------|--------------------|
| 25 | （マスク面） | 201.4588 | |
| 1* | 199.4801 | 23.6189 | 1.5600000（レンズ L11） |

| | | | | |
|----|--------|------------|-----------|---------------------|
| | 2 | 1933.2675 | 269.2901 | |
| | 3* | 248.9462 | 38.4449 | 1.5600000 (レンズL12) |
| | 4 | 1002.9474 | 19.1120 | |
| | 5 | 109.3351 | 28.6306 | 1.5600000 (レンズL13) |
| 5 | 6* | 143.4010 | 21.0000 | |
| | 7 | ∞ | 35.4787 | (開口絞りS) |
| | 8* | -1979.6477 | 27.8589 | 1.5600000 (レンズL21) |
| | 9 | 215.9777 | 13.6424 | |
| | 10* | 838.3980 | 20.3225 | 1.5600000 (レンズL22) |
| 10 | 11 | -252.7298 | 143.5573 | |
| | 12 | -475.0282 | 25.5347 | 1.5600000 (レンズL23) |
| | 13* | -98.4914 | 12.5880 | |
| | 14 | 174.9476 | 50.0000 | 1.5600000 (レンズL24) |
| | 15* | 249.0942 | 370.2800 | |
| 15 | 16* | -965.4479 | 42.8265 | 1.5600000 (レンズ成分L2) |
| | 17 | -8820.5445 | -42.8265 | 1.5600000 (裏面反射面R2) |
| | 18* | -965.4479 | -223.7172 | |
| | 19 | 346.8643 | 223.7172 | 1.5600000 (表面反射面R1) |
| | 20* | -965.4479 | 42.8265 | 1.5600000 (レンズ成分L2) |
| 20 | 21 | -8820.5445 | 10.0000 | |
| | (ウエハ面) | | | |

(非球面データ)

| | | | | |
|----|----|----------|----------|---------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| 25 | 1面 | 199.4801 | 0.00000 | -9.61173×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |

40

| | | | | |
|----|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | -2.14569×10^{-13} | 7.59160×10^{-18} | -5.90665×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| 5 | | r | κ | C_4 |
| | 3 面 | 248.9462 | 0.00000 | -1.55615×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -4.68023×10^{-12} | 3.66473×10^{-18} | 2.76851×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 10 | | 4.46701×10^{-25} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 6 面 | 143.4010 | 0.00000 | -1.49247×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | | 2.48237×10^{-12} | 1.10343×10^{-15} | -6.65598×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -2.15738×10^{-24} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 20 | 8 面 | -1979.6477 | 0.00000 | -9.40388×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -4.01544×10^{-12} | -6.89483×10^{-17} | 1.70469×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -6.15241×10^{-24} | 0.00000 | |
| 25 | | r | κ | C_4 |

41

| | | | | |
|----|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5 | 1 0 面 | 838.3980 | 0.00000 | 1.88036×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.59516×10^{-12} | -3.15148×10^{-16} | -2.20945×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 1 3 面 | -98.4914 | 0.00000 | 1.67077×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -2.42295×10^{-12} | 1.58927×10^{-15} | -1.11815×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 1.37831×10^{-23} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 5 面 | 249.0942 | 0.00000 | -1.42562×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 2.11000×10^{-11} | -3.82147×10^{-15} | 2.44894×10^{-19} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 6 面 | -965.4479 | 17.065794 | 7.65400×10^{-9} |
| | 1 8 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 25 | 2 0 面 | -7.96595×10^{-15} | -8.95740×10^{-19} | 6.26276×10^{-23} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.26805×10^{-27} | 1.50073×10^{-32} | |

(条件式対応値)

$$D = 300.000 \text{ mm}$$

$$R = -965.448 \text{ mm}$$

$$5 \quad \beta 1 = 0.6249$$

$$\beta 2 = 0.4000$$

$$(1) D / |R| = 0.3107$$

$$(2) |\beta 1 / \beta 2| = 1.5622$$

図3は、第1実施例における横収差を示す図である。

- 10 収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は157.6nm+10pm=157.61nmを、一点鎖線は157.6nm-10pm=157.59nmをそれぞれ示している。

- 収差図から明らかなように、第1実施例では、波長幅が157.6nm±10pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの
15 諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

- 以上のように、第1実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.6nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエ
20 ハ上で16.4mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、第1実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、第1実施例では、露光領域を直径16.4mmのイメージサークル内で15mm×6mmの矩形状に設定することができる。ここで、2回のスキャン露
25 光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば30mm×40mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

〔第 2 実施例〕

図 4 は、第 2 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第 2 実施例では第 1 実施例と同様に、波長幅が $157.6 \text{ nm} \pm 10 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図 4 の反射屈折結像光学系において、第 1 レンズ群 G 1 は、マスク側から順に、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズ L 11 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズ L 12 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 13 とから構成されている。

また、第 2 レンズ群 G 2 は、マスク側から順に、マスク側の面が非球面形状に形成された両凹レンズ L 21 と、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズ L 22 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズ L 23 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 24 とから構成されている。

さらに、裏面反射鏡（M 2、L 2）の屈折部を構成するレンズ成分 L 2 は、マスク側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ状に形成されている。また、副鏡 M 2 の反射面 R 2 は、マスク側に凹面を向けた形状に形成されている。

次の表 2 に、第 2 実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。表 2 において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NA は像側開口数を、 ϕ はウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ

れ示している。

なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、裏面反射面 R_2 から表面反射面 R_1 までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線
5 の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。

【表 2】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

10 $\beta = 0.1667$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 16.4 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

| 15 | 面番号 | r | d | n |
|----|--------|------------|----------|---------------------|
| | (マスク面) | | 242.1618 | |
| | 1* | 348.3645 | 20.3520 | 1.5600000 (レンズ L11) |
| | 2 | -3554.8348 | 467.3225 | |
| | 3* | 239.8908 | 34.8496 | 1.5600000 (レンズ L12) |
| 20 | 4 | 1352.4428 | 15.8591 | |
| | 5 | 102.0339 | 25.6961 | 1.5600000 (レンズ L13) |
| | 6* | 135.8731 | 15.0000 | |
| | 7 | ∞ | 33.0010 | (開口絞り S) |
| | 8* | -1646.0094 | 15.0000 | 1.5600000 (レンズ L21) |
| 25 | 9 | 162.8326 | 12.6590 | |
| | 10* | 3782.8629 | 28.4575 | 1.5600000 (レンズ L22) |

45

| | | | | |
|----|--------|-------------|-----------|-----------------------|
| | 11 | -167.4700 | 138.8995 | |
| | 12 | -667.4486 | 23.1320 | 1.5600000 (レンズ L 23) |
| | 13* | -98.3804 | 12.2947 | |
| | 14 | 238.6417 | 40.0000 | 1.5600000 (レンズ L 24) |
| 5 | 15* | 450.8009 | 367.0741 | |
| | 16* | -1060.8317 | 35.7201 | 1.5600000 (レンズ成分 L 2) |
| | 17 | -12438.4006 | -35.7201 | 1.5600000 (裏面反射面 R 2) |
| | 18* | -1060.8317 | -225.9787 | |
| | 19 | 345.5693 | 225.9787 | 1.5600000 (表面反射面 R 1) |
| 10 | 20* | -1060.8317 | 35.7201 | 1.5600000 (レンズ成分 L 2) |
| | 21 | -12438.4006 | 10.3738 | |
| | (ウエハ面) | | | |

(非球面データ)

| | | | | |
|----|-----|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 15 | | r | κ | C_4 |
| | 1 面 | 348.3645 | 0.00000 | -1.99908×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -2.61608×10^{-14} | 1.74287×10^{-18} | -8.67060×10^{-23} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 20 | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 3 面 | 239.8908 | 0.00000 | -1.46594×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 25 | | -3.72404×10^{-12} | 7.48186×10^{-17} | 7.76854×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |

46

 -9.84338×10^{-26} 0.00000

| | | | |
|---|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 5 | 6 面 135.8731 | 0.00000 | -1.31223×10^{-7} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 4.10629×10^{-12} | 1.24814×10^{-15} | -6.18827×10^{-20} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | -2.87148×10^{-24} | 0.00000 | |

| | | | |
|----|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 10 | r | κ | C_4 |
| | 8 面 -1646.0094 | 0.00000 | -9.95674×10^{-8} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | -1.74464×10^{-12} | 4.69373×10^{-16} | -1.31864×10^{-20} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | -5.68871×10^{-24} | 0.00000 | |

| | | | |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| | 10 面 3782.8629 | 0.00000 | 1.43307×10^{-8} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 20 | -1.22504×10^{-13} | -4.09091×10^{-16} | -1.15700×10^{-20} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | 0.00000 | 0.00000 | |

| | | | |
|----|------------------|----------|--------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 25 | 13 面 -98.3804 | 0.00000 | 1.88420×10^{-7} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |

47

| | | | | |
|----|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | -6.07613×10^{-12} | 2.32619×10^{-15} | -2.09690×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 2.06538×10^{-23} | 0.00000 | |
| 5 | | r | κ | C_4 |
| | 1 5 面 | 450.8009 | 0.00000 | -1.45913×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 2.29629×10^{-11} | -4.70746×10^{-15} | 3.43229×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 10 | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 6 面 | -1060.8317 | 18.256260 | 7.10920×10^{-9} |
| | 1 8 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | 2 0 面 | -2.92379×10^{-14} | -4.67533×10^{-19} | 4.87403×10^{-23} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.11194×10^{-27} | 1.25627×10^{-32} | |

(条件式対応値)

20 $D = 291.067 \text{ mm}$

$R = -1060.832 \text{ mm}$

$\beta 1 = 0.4229$

$\beta 2 = 0.3941$

(1) $D / |R| = 0.2744$

25 (2) $|\beta 1 / \beta 2| = 1.0731$

図5は、第2実施例における横収差を示す図である。

収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は $157.6\text{nm} + 10\text{pm} = 157.61\text{nm}$ を、一点鎖線は $157.6\text{nm} - 10\text{pm} = 157.59\text{nm}$ をそれぞれ示している。

収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、波長幅が $157.6\text{nm} \pm 10\text{pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第2実施例の反射屈折結像光学系においても第1実施例と同様に、中心波長が157.6nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で16.4mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、第2実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、第1実施例と同様に第2実施例では、露光領域を直径16.4mmのイメージサークル内で15mm×6mmの矩形状に設定することができる。ここで、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば30mm×40mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

20 〔第3実施例〕

図6は、第3実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第3実施例では、第1実施例および第2実施例とは異なり、波長幅が $157.6\text{nm} \pm 2\text{pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

25 図6の反射屈折結像光学系において、第1レンズ群G1は、マスク側から順に、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズL11と、

マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズL12と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL13とから構成されている。

また、第2レンズ群G2は、マスク側から順に、マスク側の面が非球面形状に形成された両凹レンズL21と、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズL22と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL23と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL24と、ウエハ側の面が非球面形状に形成された両凹レンズL25とから構成されている。

さらに、裏面反射鏡(M2、L2)の屈折部を構成するレンズ成分L2は、マスク側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ状に形成されている。また、副鏡M2の反射面R2は、マスク側に凹面を向けた形状に形成されている。

次の表3に、第3実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。

表3において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NAは像側開口数を、 ϕ はウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、裏面反射面R2から表面反射面R1までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。

【表 3】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 0.2500$$

$$5 \quad \text{NA} = 0.75$$

$$\phi = 26.4 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

| | 面番号 | r | d | n |
|----|--------|------------|----------|---------------------|
| 10 | (マスク面) | | 212.4984 | |
| | 1* | 271.1840 | 55.1190 | 1.5600000 (レンズ L11) |
| | 2 | -1813.8535 | 292.8580 | |
| | 3* | 311.8049 | 27.9307 | 1.5600000 (レンズ L12) |
| | 4 | -5255.1075 | 1.0000 | |
| 15 | 5 | 152.8546 | 25.0365 | 1.5600000 (レンズ L13) |
| | 6* | 216.9976 | 40.6000 | |
| | 7 | ∞ | 11.5638 | (開口絞り S) |
| | 8* | -6722.7061 | 18.6098 | 1.5600000 (レンズ L21) |
| | 9 | 161.3409 | 42.0666 | |
| 20 | 10* | 423.2188 | 60.0000 | 1.5600000 (レンズ L22) |
| | 11 | -178.2896 | 146.6461 | |
| | 12 | -744.0670 | 54.2587 | 1.5600000 (レンズ L23) |
| | 13* | -142.1914 | 16.5488 | |
| | 14 | 278.3048 | 50.6377 | 1.5600000 (レンズ L24) |
| 25 | 15* | 2290.2523 | 63.5676 | |
| | 16 | -4911.6877 | 35.3230 | 1.5600000 (レンズ L25) |

51

| | | | | |
|---|--------|------------|-----------|-----------------------|
| | 17* | 7183.0248 | 266.3990 | |
| | 18* | -951.7953 | 30.2109 | 1.5600000 (レンズ成分 L 2) |
| | 19 | -4911.6877 | -30.2109 | 1.5600000 (裏面反射面 R 2) |
| | 20* | -951.7953 | -226.3990 | |
| 5 | 21 | 344.7892 | 226.3990 | 1.5600000 (表面反射面 R 1) |
| | 22* | -951.7953 | 30.2109 | 1.5600000 (レンズ成分 L 2) |
| | 23 | -4911.6877 | 10.0000 | |
| | (ウエハ面) | | | |

10 (非球面データ)

| | | | |
|-----|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 面 | 271.1840 | 0.00000 | -4.13100×10^{-9} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | -4.86836×10^{-14} | 5.18033×10^{-19} | -2.34891×10^{-23} |
| 15 | C_{12} | C_{14} | |
| | 0.00000 | 0.00000 | |

| | | | |
|-----|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 3 面 | 311.8049 | 0.00000 | -1.61517×10^{-7} |
| 20 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | -1.25518×10^{-12} | 1.97882×10^{-16} | 5.26274×10^{-21} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | -6.29521×10^{-25} | 0.00000 | |

| | | | |
|-----|----------|----------|---------------------------|
| 25 | r | κ | C_4 |
| 6 面 | 216.9976 | 0.00000 | -1.23619×10^{-7} |

52

| | | | | |
|----|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 3.70374×10^{-12} | 6.92531×10^{-16} | -5.14929×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 9.15839×10^{-26} | 0.00000 | |
| 5 | | | | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 8 面 | -6722.7061 | 0.00000 | -7.87222×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -5.25993×10^{-12} | 6.65324×10^{-17} | -2.77521×10^{-21} |
| 10 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -2.07292×10^{-24} | 0.00000 | |
| | | | | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 10 面 | 423.2188 | 0.00000 | 2.83109×10^{-8} |
| 15 | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.39256×10^{-12} | -1.14067×10^{-16} | 1.60286×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| 20 | | | | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 13 面 | -142.1914 | 0.00000 | 6.81342×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -4.96671×10^{-13} | 2.11714×10^{-16} | -9.23870×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 25 | | 7.74512×10^{-25} | 0.00000 | |

53

| | | | |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 5 面 | 2290.2523 | 0.00000 | -3.65549×10^{-8} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 3.60552×10^{-12} | -3.34833×10^{-16} | -5.30167×10^{-20} |
| 5 | C_{12} | C_{14} | |
| | 0.00000 | 0.00000 | |
| | r | κ | C_4 |
| 1 7 面 | 7183.0248 | 0.00000 | -2.46580×10^{-8} |
| 10 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 1.69228×10^{-12} | 1.62175×10^{-16} | -2.27785×10^{-19} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | 5.70974×10^{-35} | 0.00000 | |
| 15 | r | κ | C_4 |
| 1 8 面 | -951.7953 | 16.818076 | 8.20688×10^{-9} |
| 2 0 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 2 2 面 | -2.48038×10^{-14} | -8.45982×10^{-19} | 8.17477×10^{-23} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| 20 | -1.96463×10^{-27} | 2.43799×10^{-32} | |

(条件式対応値)

$$D = 292.019 \text{ mm}$$

$$R = -951.795 \text{ mm}$$

$$25 \quad \beta_1 = 0.6083$$

$$\beta_2 = 0.4110$$

$$(1) D / |R| = 0.3068$$

$$(2) |\beta 1 / \beta 2| = 1.4799$$

図7は、第3実施例における横収差を示す図である。

収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破
5 線は $157.6\text{nm} + 2\text{pm} = 157.602\text{nm}$ を、一点鎖線は $157.6\text{nm} - 2\text{pm} = 157.598\text{nm}$ をそれぞれ示している。

収差図から明らかなように、第3実施例では、波長幅が $157.6\text{nm} \pm 2\text{pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸
10 収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第3実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.6nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で26.4mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、第3実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、露光領域をたとえば25mm×8mmの矩形状に設定し、1回のスキャン露光により25mm×33mmの領域にマスクパターンを転写することができる。なお、第1及び第2実施例と同様に複数回のスキャン露光を用いた
15 20 継ぎ露光を行っても良い。

〔第4実施例〕

図8は、第4実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第4実施例では、第3実施例と同様に、波長幅が $157.6\text{nm} \pm 2\text{pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補
25 正された投影光学系に本発明を適用している。

図8の反射屈折結像光学系において、第1レンズ群G1は、マスク側

から順に、マスク側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 11 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL 12 と、マスク側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 13 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた正メニスカスレンズL 14 とから
5 構成されている。

また、第2レンズ群G 2 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 21 と、マスク側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 22 と、マスク側の面が非球面形状に形成された両凸レンズL 23 と、ウエハ側の面が非球面形状に形成
10 された両凸レンズL 24 とから構成されている。

さらに、裏面反射鏡（M 2、L 2）の屈折部を構成するレンズ成分L 2 は、マスク側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズ状に形成されている。また、副鏡M 2 の反射面R 2 は、マスク側に凸面を向けた形状に形成されている。

15 次の表4に、第4実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。
表4において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NAは像側開口数を、 ϕ はウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 r は各面の
20 曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、裏面反射面R 2 から表面反射面R 1 までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、
25

凹面の曲率半径を負としている。

【表 4】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$5 \quad \beta = 0.2500$$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 26.4 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

| 10 | 面番号 | r | d | n |
|----|--------|------------|----------|---------------------|
| | (マスク面) | | 90.0000 | |
| | 1* | -1040.1889 | 16.8787 | 1.5600000 (レンズ L11) |
| | 2 | -284.5252 | 441.0860 | |
| | 3* | 248.9993 | 31.6042 | 1.5600000 (レンズ L12) |
| 15 | 4 | 1868.1161 | 86.0264 | |
| | 5* | -256.4757 | 15.0000 | 1.5600000 (レンズ L13) |
| | 6 | -1079.5886 | 1.0001 | |
| | 7* | 160.4237 | 39.0505 | 1.5600000 (レンズ L14) |
| | 8 | 1268.4783 | 3.7000 | |
| 20 | 9 | ∞ | 70.0471 | (開口絞り S) |
| | 10* | -129.2757 | 15.0000 | 1.5600000 (レンズ L21) |
| | 11 | -277.5549 | 78.6066 | |
| | 12* | -1494.7189 | 45.0000 | 1.5600000 (レンズ L22) |
| | 13 | -238.2212 | 91.8347 | |
| 25 | 14* | 365.9254 | 18.9298 | 1.5600000 (レンズ L23) |
| | 15 | -701.6534 | 129.1513 | |

57

| | | | | |
|---|--------|------------|-----------|----------------------|
| | 16 | 4243.7172 | 16.9695 | 1.5600000 (レンズL 24) |
| | 17* | -216.4772 | 290.1728 | |
| | 18* | -2125.3388 | 59.9425 | 1.5600000 (レンズ成分L 2) |
| | 19 | 5996.9618 | -59.9425 | 1.5600000 (裏面反射面R 2) |
| 5 | 20* | -2125.3388 | -230.3293 | |
| | 21 | 350.1412 | 230.3293 | 1.5600000 (表面反射面R 1) |
| | 22* | -2125.3388 | 59.9425 | 1.5600000 (レンズ成分L 2) |
| | 23 | 5996.9618 | 10.0000 | |
| | (ウエハ面) | | | |

10

(非球面データ)

| | | | |
|-----|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 面 | -1040.1889 | 0.00000 | 8.50114×10^{-9} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | 9.40854×10^{-14} | 3.85092×10^{-18} | -5.46679×10^{-22} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | 0.00000 | 0.00000 | |

| | | | | |
|----|-----|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| 20 | 3 面 | 248.9993 | 0.00000 | -1.42904×10^{-10} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 6.60616×10^{-14} | 3.65786×10^{-18} | -1.09842×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 4.97484×10^{-27} | 0.00000 | |

25

| | | |
|---|----------|-------|
| r | κ | C_4 |
|---|----------|-------|

58

| | | | | |
|----|-------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 5 | 5 面 | -256.4757 | 0.00000 | 5.80903×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.21604×10^{-13} | 1.20391×10^{-17} | 1.45440×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 6.87071×10^{-27} | 0.00000 | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 7 面 | 160.4237 | 0.00000 | -6.83384×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 5.93636×10^{-13} | 6.46685×10^{-18} | 5.93586×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 9.08641×10^{-26} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 0 面 | -129.2757 | 0.00000 | -1.19158×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 5.20234×10^{-12} | 1.68410×10^{-16} | 6.16591×10^{-21} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -3.28458×10^{-25} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 2 面 | -1494.7189 | 0.00000 | 3.04547×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 25 | | -2.21766×10^{-12} | 1.10527×10^{-16} | -3.25713×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 1.29445×10^{-25} | 0.00000 | |

59

| | | | | |
|----|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 4 面 | 365.9254 | 0.00000 | -3.76800×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 5 | | 1.05958×10^{-13} | -2.08225×10^{-17} | 1.53887×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.62147×10^{-25} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 10 | 1 7 面 | -216.4772 | 0.00000 | 1.07160×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.20868×10^{-13} | -2.81385×10^{-18} | 2.81683×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| 15 | | r | κ | C_4 |
| | 1 8 面 | -2125.3388 | 91.723346 | 5.77862×10^{-10} |
| | 2 0 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 2 2 面 | -2.56941×10^{-14} | 1.81191×10^{-18} | -4.17947×10^{-23} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 1.10317×10^{-27} | -1.11337×10^{-32} | |

(条件式対応値)

$$D = 290.300 \text{ mm}$$

$$25 \quad R = -2125.339 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.5350$$

$$\beta 2 = 0.4673$$

$$(1) D / |R| = 0.1366$$

$$(2) |\beta 1 / \beta 2| = 1.1449$$

図9は、第4実施例における横収差を示す図である。

- 5 収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は157.6nm+2pm=157.602nmを、一点鎖線は157.6nm-2pm=157.598nmをそれぞれ示している。

- 収差図から明らかなように、第4実施例では第3実施例と同様に、波長幅が157.6nm±2pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、
10 歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

- 以上のように、第4実施例の反射屈折結像光学系においても第3実施例と同様に、中心波長が157.6nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NA
15 を確保するとともに、ウエハ上で26.4mmのイメージサークルを確保することができる。したがって、第4実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、第3実施例と同様に、露光領域をたとえば25mm×8mmの矩形状に設定し、1回のスキャン露光により25mm×33mm
20 mの領域にマスクパターンを転写することができる。なお、第1及び第2実施例と同様に複数回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行っても良い。

(第2実施形態)

以下、本発明の第2実施形態に係る反射屈折結像光学系を説明する。

- 25 第2実施形態に係る反射屈折結像光学系を備えた投影露光装置の全体構成については、図1と同様であり第1実施形態の説明をそのまま引用

できる。よって、ここでは重複する説明を省略する。

- 本実施形態の反射屈折結像光学系からなる投影光学系 8 は、以下で具体的に説明する実施例に対応する図 10、12 を参照して説明すると、マスク 3 のパターン的一次像（中間像）を形成するための第 1 結像光学系 K 1 と、一次像からの光に基づいてマスクパターンの二次像（最終像）を縮小倍率で感光性基板であるウエハ 9 上に形成するための第 2 結像光学系 K 2 とから構成されている。第 1 結像光学系 K 1 は、マスク側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G 1 と、開口絞り S と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 とから構成されている。
- 10 第 2 結像光学系 K 2 は、マスク側から順に、ウエハ側に凹面を向けた表面反射面 R 1 を有し且つ中央に開口部（光透過部）を有する主鏡 M 1 と、レンズ成分 L 2 と、中央に開口部（光透過部）を有する反射面 R 2 を備えた副鏡 M 2 とから構成されている。

- なお、投影光学系 8 を構成するすべての光学要素（G 1、G 2、M 1、M 2、L 2）は単一の光軸 A X に沿って配置されている。また、主鏡 M 1 は一次像の形成位置の近傍に配置され、副鏡 M 2 はウエハ 9 に近接して配置されている。
- 15

- こうして、本実施形態では、マスク 3 のパターンからの光が、第 1 結像光学系 K 1 を介して、マスクパターンの一次像（中間像）を形成する。一次像からの光は、主鏡 M 1 の中央開口部及びレンズ成分 L 2 を介して副鏡 M 2 で反射され、副鏡 M 2 で反射された光はレンズ成分 L 2 を介して主鏡 M 1 で反射される。主鏡 M 1 で反射された光は、レンズ成分 L 2 及び副鏡 M 2 の中央開口部を介してウエハ 9 面上にマスクパターンの二次像を縮小倍率で形成する。
- 20

- 25 本実施形態において、投影光学系 8 を構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、露光

光である F_2 レーザ光の発振中心波長は 157.6 nm であり、 157.6 nm 付近では CaF_2 の屈折率は、 $+1\text{ pm}$ の波長変化あたり -2.4×10^{-6} の割合で変化し、 -1 pm の波長変化あたり $+2.4 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。

5 従って、中心波長 157.6 nm に対する CaF_2 の屈折率は 1.560000 である。そして、各実施例において、 $157.6\text{ nm} + 10\text{ pm} = 157.61\text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5599760 であり、 $157.6\text{ nm} - 10\text{ pm} = 157.59\text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.5600240 である。

10 また、以下に説明する各実施例において、非球面は、第1実施形態で既に説明した数式 (a) にて表される。なお、以下の各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に * 印を付している。

〔第5実施例〕

図10は、第5実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）の
15 レンズ構成を示す図である。第5実施例では、波長幅が $157.6\text{ nm} \pm 10\text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。図10の反射屈折結像光学系は、マスク3の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系 $K1$ と、前記中間像からの光に基づいてマスク3の最終像を縮小倍率でウエハ9上に形成する
20 ための反射屈折型の第2結像光学系 $K2$ とを備えている。そして、第1結像光学系 $K1$ は、マスク3側から順に、正屈折力の第1レンズ群 $G1$ と、開口絞り S と、正屈折力の第2レンズ群 $G2$ とを有し、第2結像光学系 $K2$ は、中央部に第1光通過部 $AP1$ を有する負屈折力の第1反射面 $R1$ からなる主鏡 $M1$ と、中央部に第2光通過部 $AP2$ を有する第
25 2反射面 $R2$ からなる副鏡 $M2$ と、第1反射面 $R1$ 及び第2反射面 $R2$ から離間されているウエハ側に凹面を向けた屈折面を有するレンズ成分

L 2 とを有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 1 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 1 2 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 1 3 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 4 とから構成されている。

また、第 2 レンズ群 G 2 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 2 1 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 2 2 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 2 3 とから構成されている。

さらに、第 2 結像光学系 K 2 は、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ L 2 を含んでいる。

また、第 1 結像光学系 K 1 は、光軸 A X の方向において開口絞り S とは異なる位置に配置されて光軸 A X 近傍の光を遮光する中心遮蔽部材 B を有する。

かかる構成において、第 1 結像光学系 K 1 からの光が主鏡 M 1 の第 1 光透過部 A P 1 とレンズ成分 L 2 とを介して第 2 反射面 R 2 で反射され、第 2 反射面 R 2 で反射された光がレンズ成分 L 2 を介して第 1 反射面 R 1 で反射され、第 1 反射面 R 1 で反射された光がレンズ成分 L 2 と副鏡 M 2 の第 2 光透過部 A P 2 とを介してウエハ面 9 上に最終像を形成する。

以下の表 5 に、第 5 実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。表 5 において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率を、NA は像側開口数を、 ϕ はウエハ上でのイメージサークルの直径をそれぞれ表している。また、面番号は物体面であるマスク面から像面であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったマスク側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上

間隔すなわち面間隔 (mm) を、 n は中心波長 ($\lambda = 157.6 \text{ nm}$) に対する屈折率をそれぞれ示している。

また、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。従って、面間隔 d の符号は、反射面 R 2 から反射面 R 1 までの光路中では
 5 負とし、その他の光路中では正としている。そして、光線の入射方向にかかわらずマスク側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。なお、以下の第 6 実施例において、第 5 実施例と同様の符号を用いる。

【表 5】

10 (主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm} \pm 10 \text{ pm}$$

$$\beta = 0.2500$$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 16.4 \text{ mm}$$

15 $\Delta n / \Delta \lambda = 2.4 \times 10^{-6} (\Delta \lambda = 1 \text{ pm})$

| 面番号 | r | d | n |
|------|------------|---------|-----------|
| 1* | 169.7986 | 25.120 | 1.5600000 |
| 2 | 828.2434 | 248.638 | |
| 3* | 419.3057 | 17.377 | 1.5600000 |
| 20 4 | -358.6668 | 1.000 | |
| 5 | 99.9661 | 38.596 | 1.5600000 |
| 6* | 141.0006 | 11.462 | |
| 7* | 64162.6646 | 15.000 | 1.5600000 |
| 8 | 156.1861 | 10.033 | |
| 25 9 | 0.0000 | 115.356 | (開口絞り) |
| 10* | 126.7181 | 39.667 | 1.5600000 |

65

| | | | | |
|----|-----|-----------|----------|-----------|
| | 11 | 140.6882 | 48.857 | |
| | 12 | 360.0217 | 32.301 | 1.5600000 |
| | 13* | -111.1630 | 60.049 | |
| | 14 | 168.2754 | 60.000 | 1.5600000 |
| 5 | 15* | 188.7785 | 14.271 | |
| | 16 | 0.0000 | 253.659 | |
| | 17 | 1763.6223 | 39.730 | 1.5600000 |
| | 18* | 604.2607 | 12.936 | |
| | 19 | 0.0000 | -12.936 | |
| 10 | 20* | 604.2607 | -39.730 | 1.5600000 |
| | 21 | 1763.6223 | -213.659 | |
| | 22 | 341.6710 | 213.659 | |
| | 23 | 1763.6226 | 39.730 | 1.5600000 |
| | 24* | 604.2607 | 25.936 | |

15

(非球面データ)

| | | | | |
|----|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 面 | 169.7986 | 0.00000 | -1.77640×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 20 | | -3.15876×10^{-13} | -4.58542×10^{-18} | -4.33089×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |

| | | | | |
|----|-----|----------|----------|---------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| 25 | 3 面 | 419.3057 | 0.00000 | -2.26166×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |

66

| | | | | |
|----|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | 6.74494×10^{-13} | 2.78902×10^{-16} | -8.28386×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.96187×10^{-26} | 0.00000 | |
| 5 | | r | κ | C_4 |
| | 6 面 | 141.0006 | 0.00000 | -1.79523×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 3.36890×10^{-11} | 2.84625×10^{-15} | -3.81299×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 10 | | 4.94390×10^{-23} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 7 面 | 64162.6646 | 0.00000 | 1.11972×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | | -5.67876×10^{-12} | 4.12815×10^{-16} | 5.65399×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -2.14735×10^{-23} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 20 | 10 面 | 126.7181 | 0.00000 | -5.63527×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 3.24172×10^{-13} | -5.77177×10^{-17} | 5.45422×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| 25 | | r | κ | C_4 |

67

| | | | | |
|----|-------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5 | 1 3 面 | -111.1630 | 0.00000 | 1.28904×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 2.37711×10^{-12} | 3.46806×10^{-16} | -1.34551×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 2.44040×10^{-24} | 0.00000 | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 1 5 面 | 188.7785 | 0.00000 | -5.43671×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 4.63484×10^{-12} | 1.53536×10^{-14} | -1.26491×10^{-17} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 8 面 | 604.2607 | 0.00000 | -9.80093×10^{-9} |
| | 2 0 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 2 4 面 | 1.49653×10^{-14} | 9.52668×10^{-18} | -5.35859×10^{-22} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 1.52780×10^{-26} | -1.91921×10^{-31} | |

(条件式対応値)

$$(3) \quad f_1 / d_1 = -64.0760$$

$$(4) \quad |\beta_1 / \beta_2| = 1.5271$$

図 1 1 は、第 5 実施例における横収差を示す図である。収差図において、Y は像高を、実線は中心波長 157.6 nm を、破線は 157.6 nm + 10 pm = 157.61 nm を、一点鎖線は 157.6 nm - 1

0 pm = 157.59 nmをそれぞれ示している。収差図から明らかのように、第5実施例では、波長幅が157.6 nm ± 10 pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第5実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.6 nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で16.4 mmのイメージサークルを確保することができる。従って、第5実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1 μm以下の高解像を達成することができる。また、第5実施例では、露光領域を直径16.4 mmイメージサークル内で15 mm × 6 mmの矩形状に設定することができる。ここで、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば30 mm × 40 mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

〔第6実施例〕

図12は、第6実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第6実施例では第5実施例と同様に、波長幅が157.6 nm ± 10 pmの露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図12の反射屈折結像光学系は、マスク3の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系K1と、前記中間像からの光に基づいてマスク3の最終像を縮小倍率でウエハ9上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系K2とを備えている。そして、第1結像光学系K1は、マスク3側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、開口絞りSと、正屈折力の第2レンズ群G2とを有し、第2結像光学系K2は、中央部に第

1 光通過部 A P 1 を有する負屈折力の第 1 反射面 R 1 からなる主鏡 M 1 と、中央部に第 2 光通過部 A P 2 を有する第 2 反射面 R 2 からなる副鏡 M 2 と、第 1 反射面 R 1 及び第 2 反射面 R 2 から離間されているウエハ側に凹面を向けた屈折面を有するレンズ成分 L 2 とを有している。

5 第 1 レンズ群 G 1 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 1 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 1 2 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 1 3 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 4 とから構成されている。

10 また、第 2 レンズ群 G 2 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 2 1 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 2 2 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 2 3 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 2 4 とから構成されている。さらに、第 2 結像光学系 K 2 は、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ L 2
15 を含んでいる。

また、第 1 結像光学系 K 1 は、光軸 A X の方向において開口絞り S とは異なる位置に配置されて光軸 A X 近傍の光を遮光する中心遮蔽部材 B を有する。

20 かかる構成において、第 1 結像光学系 K 1 からの光が主鏡 M 1 の第 1 光透過部 A P 1 とレンズ成分 L 2 とを介して第 2 反射面 R 2 で反射され、第 2 反射面 R 2 で反射された光がレンズ成分 L 2 を介して第 1 反射面 R 1 で反射され、第 1 反射面 R 1 で反射された光がレンズ成分 L 2 と副鏡 M 2 の第 2 光通過部 A P 2 とを介してウエハ面 9 上に最終像を形成する。

25 以下の表 6 に、第 6 実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。

【表 6】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm} \pm 10 \text{ pm}$$

$$\beta = 0.2500$$

$$NA = 0.75$$

$$5 \quad \phi = 16.4 \text{ mm}$$

$$\Delta n / \Delta \lambda = 2.4 \times 10^{-6} (\Delta \lambda = 1 \text{ pm})$$

| | 面番号 | r | d | n |
|----|-----|------------|---------|-----------|
| | 1* | 412.2670 | 55.000 | 1.5600000 |
| | 2 | 278.2710 | 4.037 | |
| 10 | 3* | 351.6360 | 55.000 | 1.5600000 |
| | 4 | -196.4722 | 128.641 | |
| | 5 | 1852.9256 | 55.000 | 1.5600000 |
| | 6* | 737.1318 | 64.319 | |
| | 7* | 115.3693 | 20.000 | 1.5600000 |
| 15 | 8 | 195.0739 | 9.315 | |
| | 9 | 0.0000 | 47.118 | (開口絞り) |
| | 10* | 176.4495 | 49.110 | 1.5600000 |
| | 11 | 471.5455 | 87.737 | |
| | 12 | 962.6665 | 52.276 | 1.5600000 |
| 20 | 13* | -200.4321 | 2.246 | |
| | 14 | -2276.0089 | 35.813 | 1.5600000 |
| | 15* | -117.9540 | 1.000 | |
| | 16 | 95.8649 | 52.621 | |
| | 17* | 59.4260 | 21.926 | 1.5600000 |
| 25 | 18 | 0.000 | 249.860 | |
| | 19 | 4745.5417 | 35.000 | |

71

| | | | | |
|---|------|------------|----------|-----------|
| | 20 * | 1103.5766 | 13.736 | 1.5600000 |
| | 21 | -1937.5263 | -13.736 | |
| | 22 * | 1103.5766 | -35.000 | 1.5600000 |
| | 23 | 4745.5417 | -209.860 | |
| 5 | 24 | 353.9951 | 209.860 | |
| | 25 | 4745.5417 | 35.000 | 1.5600000 |
| | 26 * | 1103.5766 | 23.736 | |

(非球面データ)

| | | | | |
|----|-----|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 1 面 | 412.2670 | 0.00000 | 3.27122×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.25498×10^{-12} | 1.61545×10^{-18} | 9.57506×10^{-22} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 3 面 | 351.6360 | 0.00000 | -5.65486×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 20 | | 5.36737×10^{-13} | 2.99175×10^{-17} | -1.10610×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 5.74319×10^{-26} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 25 | 6 面 | 737.1318 | 0.00000 | 1.01578×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |

72

| | | | | |
|----|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | -3.89894×10^{-12} | 1.30511×10^{-16} | 3.97806×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.68419×10^{-24} | 0.00000 | |
| 5 | | r | κ | C_4 |
| | 7 面 | 115.3693 | 0.00000 | -4.36213×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -9.63479×10^{-12} | -3.88721×10^{-16} | 2.56221×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 10 | | -8.85379×10^{-24} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 10 面 | 176.4495 | 0.00000 | -1.13559×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | | -3.09916×10^{-12} | -2.68461×10^{-16} | -4.57597×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 20 | 13 面 | -200.4321 | 0.00000 | -1.82574×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.23744×10^{-11} | 2.29903×10^{-15} | 1.45553×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.80396×10^{-23} | -2.73373×10^{-27} | |
| 25 | | r | κ | C_4 |

73

| | | | | |
|----|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 5 | 1 5 面 | -117.9540 | 0.00000 | 5.37993×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -3.74964×10^{-11} | 1.14000×10^{-14} | -2.61321×10^{-18} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 2.78112×10^{-22} | 0.00000 | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 1 7 面 | 59.4260 | 0.00000 | -1.04755×10^{-6} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.86438×10^{-10} | -7.77809×10^{-14} | -7.29218×10^{-17} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 0.00000 | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 0 面 | 1103.5766 | 0.00000 | -2.23719×10^{-9} |
| | 2 2 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 2 6 面 | -5.41768×10^{-17} | -5.34948×10^{-21} | 1.98586×10^{-23} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -8.17492×10^{-28} | 1.14608×10^{-32} | |

(条件式対応値)

$$(3) \quad f_1 / d_1 = -108.5570$$

$$(4) \quad |\beta_1 / \beta_2| = 1.0521$$

図13は、第6実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長157.6nmを、破線は157.6nm+10pm=157.61nmを、一点鎖線は157.6nm-1

0 pm = 157.59 nmをそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第6実施例では、波長幅が157.6 nm ± 10 pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第6実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.6 nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で16.4 mmのイメージサークルを確保することができる。従って、第6実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1 μm以下の高解像を達成することができる。また、第6実施例では、露光領域を直径16.4 mmのイメージサークル内で15 mm × 6 mmの矩形状に設定することができる。ここで、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば30 mm × 40 mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

(第3実施形態)

以下、本発明の第3実施形態に係る反射屈折結像光学系を説明する。なお、第3実施形態に係る反射屈折結像光学系を備えた投影露光装置の全体構成については、図1と同様であり第1実施形態の説明をそのまま引用できる。よって、ここでは重複する説明を省略する。

本実施形態の反射屈折結像光学系からなる投影光学系8は、以下で具体的に説明する実施例に対応する図14、16、18を参照して説明すると、マスク3のパターンの一次像（中間像）を形成するための第1結像光学系K1と、一次像からの光に基づいてマスクパターンの二次像（最終像）を縮小倍率で感光性基板であるウエハ9上に形成するための第2結像光学系K2と、両光学系K1、K2に挟まれて色収差を補正す

る色収差補正レンズL 3 とから構成されている。第 1 結像光学系 K 1 は、マスク側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G 1 と、開口絞り S と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 とから構成されている。

第 2 結像光学系 K 2 は、マスク側から順に、ウエハ側に凹面を向けた
5 表面反射面 R 1 を有し且つ中央に開口部（光透過部）を有する主鏡 M 1 と、レンズ成分 L 2 と、中央に開口部（光透過部）を有する反射面 R 2 を備えた副鏡 M 2 とから構成されている。

なお、投影光学系 8 を構成するすべての光学要素（G 1, G 2, M 1, M 2, L 2）は単一の光軸 A X に沿って配置されている。また、主鏡 M
10 1 は一次像の形成位置の近傍に配置され、副鏡 M 2 はウエハ 9 に近接して配置されている。

こうして、本実施形態では、マスク 3 のパターンからの光が、第 1 結像光学系 K 1 を介して、マスクパターンの一次像（中間像）を形成する。一次像からの光は、色収差補正レンズ L 3 を通過した後、主鏡 M 1 の中
15 央開口部を介して副鏡 M 2 で反射され、副鏡 M 2 で反射された光は主鏡 M 1 で反射される。主鏡 M 1 で反射された光は、副鏡 M 2 の中央開口部を介してウエハ 9 面上にマスクパターンの二次像を縮小倍率で形成する。

本実施形態において、投影光学系 8 を構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、露光
20 光である F_2 レーザ光の発振中心波長は 157.6 nm である。157.6 nm 付近における CaF_2 の屈折率やその変化は、上記実施形態で説明した通りである。

また、以下に説明する各実施例において、非球面は、第 1 実施形態で既に説明した数式（a）にて表される。なお、以下の各実施例において、
25 非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に * 印を付している。

〔第 7 実施例〕

図 1 4 は、第 7 実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第 7 実施例では、波長幅が $157.624 \text{ nm} \pm 1 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。図 1 4 の反射屈折結像光学系は、マスク 3 の中間像 I I を形成するための屈折型の第 1 結像光学系 K 1 と、中間像 I I からの光に基づいてマスク 3 の最終像を縮小倍率でウエハ 9 上に形成するための反射屈折型の第 2 結像光学系 K 2 と、両光学系 K 1、K 2 に挟まれた色収差補正レンズ L 3 とを備えている。そして、第 1 結像光学系 K 1 は、マスク 3 側から順に、正屈折力の第 1 レンズ群 G 1 と、開口絞り S と、正屈折力の第 2 レンズ群 G 2 とを有し、第 2 結像光学系 K 2 は、中央部に第 1 光通過部 A P 1 を有する負屈折力の第 1 反射面 R 1 からなる主鏡 M 1 と、中央部に第 2 光通過部 A P 2 を有する第 2 反射面 R 2 からなる副鏡 M 2 とを有している。

第 1 レンズ群 G 1 は、マスク側から順に、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 1 と、ウエハ側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズ L 1 2 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 1 3 と、マスク側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 1 4 と、球面形状の両凸レンズ L 1 5 とから構成されている。

また、第 2 レンズ群 G 2 は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 2 1 と、ウエハ側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズ L 2 2 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズ L 2 3 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 2 4 と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズ L 2 5 と、球面形状の両凸レンズ L 2 6 と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 2 7 と、球面形状の両凸レンズ L 2 8 とか

ら構成されている。

さらに、第2レンズ群G2の後方の中間像I1が形成される位置の後側であって、主鏡M1に設けた第1光透過部AP1の手前には、球面形状の両凹レンズである色収差補正レンズL3が配置されている。

5 また、第 1 結像光学系 K 1 は、光軸 A X の方向において開口絞り S と
は異なる位置に配置されて光軸 A X 近傍の光を遮光する中心遮蔽部材 B
を有する。

かかる構成において、第1結像光学系K1からの光は、色収差補正レンズL3を通過し、主鏡M1の第1光透過部AP1を経て第2反射面R2で反射される。第2反射面R2で反射された光は、第1反射面R1で反射され、第1反射面R1で反射された光が副鏡M2の第2光透過部AP2を介してウエハ面9上に最終像を形成する。

以下の表 7 に、第 7 実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。
表 7 において、 λ 、 β 、NA、 ϕ は、それぞれ上記表 1 等において説明
15 したと同様の符号である。また、面番号、r、d、n も、上記表 1 等
において説明したと同様のものである。なお、以下の第 8、9 実施例にお
いて、第 7 実施例と同様の符号を用いる。

【表 7】

(主要諸元)

20 $\lambda = 1\ 5\ 7.\ 6\ 2\ 4\ \text{nm} \pm 1\ \mu\text{m}$
 $\beta = 0.\ 2\ 5\ 0\ 0$
 $NA = 0.\ 7\ 5$
 $\phi = 1\ 6.\ 4\ \text{mm}$
 $\Delta n / \Delta \lambda = -2.\ 4 \times 10^{-6} (\Delta \lambda = 1\ \mu\text{m})$

| | | | | |
|----|--------|---|---------|---|
| 25 | 面番号 | r | d | n |
| | (マスク面) | | 97.4647 | |

| | | | | | |
|----|-----|------------|---------|----------|------------|
| | 1 | -133.8316 | 35.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 1) |
| | 2* | -116.4714 | 1.0000 | | |
| | 3 | -554.1774 | 20.5256 | 1.559238 | (レンズL 1 2) |
| | 4 | -213.7250 | 25.1023 | | |
| 5 | 5 | -261.9616 | 20.0289 | 1.559238 | (レンズL 1 3) |
| | 6* | -168.6391 | 20.3246 | | |
| | 7* | -96.4098 | 25.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 4) |
| | 8 | -163.9518 | 5.8731 | | |
| | 9 | 782.1145 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 5) |
| 10 | 10 | -194.0414 | 1.1373 | | |
| | 11 | ∞ | 20.6498 | | (開口絞りS) |
| | 12* | 104.9826 | 24.2585 | 1.559238 | (レンズL 2 1) |
| | 13 | -1294.5816 | 10.7993 | | |
| | 14 | -152.5389 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズL 2 2) |
| 15 | 15 | -858.7147 | 38.4039 | | |
| | 16* | 798.2520 | 20.1464 | 1.559238 | (レンズL 2 3) |
| | 17 | 198.7615 | 4.1296 | | |
| | 18* | 261.7539 | 29.0815 | 1.559238 | (レンズL 2 4) |
| | 19 | -501.0834 | 63.3677 | | |
| 20 | 20 | 3299.4456 | 30.0000 | 1.559238 | (レンズL 2 5) |
| | 21* | 360.6533 | 39.6971 | | |
| | 22 | 1401.8392 | 34.4568 | 1.559238 | (レンズL 2 6) |
| | 23 | -170.8148 | 5.9831 | | |
| | 24* | 266.5085 | 24.4029 | 1.559238 | (レンズL 2 7) |
| 25 | 25 | -370.3218 | 38.2791 | | |
| | 26 | 255.6101 | 39.9997 | 1.559238 | (レンズL 2 8) |

| | | | | | |
|---|----|------------|-----------|----------|----------|
| | 27 | -1343.1549 | 49.5384 | | |
| | 28 | -142.9084 | 21.2041 | 1.559238 | (レンズL 3) |
| | 29 | 112.3957 | 14.2675 | | |
| | 30 | 427.9297 | 284.4437 | | |
| 5 | 31 | -3734.1426 | -284.4437 | | (反射面R 1) |
| | 32 | 427.9297 | 284.4437 | | (反射面R 2) |
| | 33 | -3734.1426 | 13.3911 | | |
| | | (ウエハ面) | 0.0000 | | |

10 (非球面データ)

| | | | |
|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 2 面 | -116.4714 | 0.00000 | 7.4338×10^{-8} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 1.4821×10^{-12} | 2.8340×10^{-16} | 1.0465×10^{-21} |
| 15 | C_{12} | C_{14} | |
| | 2.3982×10^{-24} | 0.00000 | |

| | | | |
|-----|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 6 面 | -168.6391 | 0.00000 | -3.1895×10^{-8} |
| 20 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | 1.5252×10^{-12} | -1.5642×10^{-16} | 1.0493×10^{-20} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | -7.2790×10^{-25} | 0.00000 | |

| | | | |
|-----|----------|----------|--------------------------|
| 25 | r | κ | C_4 |
| 7 面 | -96.4098 | 0.00000 | -1.8862×10^{-7} |

80

| | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| C_6 | C_8 | C_{10} |
| -2.5593×10^{-12} | -1.2889×10^{-15} | 1.3308×10^{-19} |
| C_{12} | C_{14} | |
| 2.2662×10^{-23} | 0.00000 | |

5

| | | | |
|-------|----------|----------|--------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 2 面 | 104.9826 | 0.00000 | -1.7279×10^{-7} |

| | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| C_6 | C_8 | C_{10} |
| -2.6931×10^{-11} | -2.7058×10^{-15} | -2.7673×10^{-19} |

10

| | |
|---------------------------|----------|
| C_{12} | C_{14} |
| -8.2067×10^{-23} | 0.00000 |

| | | | |
|-------|----------|----------|--------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 6 面 | 798.2520 | 0.00000 | -7.8055×10^{-8} |

15

| | | |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| C_6 | C_8 | C_{10} |
| 2.4611×10^{-11} | -3.3373×10^{-15} | -5.8685×10^{-19} |

| | |
|--------------------------|----------|
| C_{12} | C_{14} |
| 6.5684×10^{-23} | 0.00000 |

20

| | | | |
|-------|----------|----------|-------------------------|
| | r | κ | C_4 |
| 1 8 面 | 261.7539 | 0.00000 | 1.4844×10^{-8} |

| | | |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| C_6 | C_8 | C_{10} |
| -1.7927×10^{-11} | 3.0001×10^{-15} | 3.4128×10^{-19} |

25

| | |
|---------------------------|----------|
| C_{12} | C_{14} |
| -7.3746×10^{-23} | 0.00000 |

81

| | | | | |
|----|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 1 面 | 360.6533 | 0.00000 | 9.0882×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.6366×10^{-12} | 1.4369×10^{-16} | -9.1173×10^{-20} |
| 5 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 4.3321×10^{-24} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 4 面 | 266.5085 | 0.00000 | 1.3982×10^{-8} |
| 10 | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 2.9315×10^{-13} | 8.0049×10^{-17} | -2.5823×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 1.2241×10^{-24} | 0.00000 | |
| 15 | (条件式対応値) | | | |
| | $f_2 = -109.2$ | | | |
| | $d_2 = 248.4$ | | | |
| | $d_3 = 13.4$ | | | |
| | $\beta = 0.25$ | | | |
| 20 | $\beta_3 = 0.392$ | | | |
| | $\beta_4 = -1.255$ | | | |
| | (5) $f_2 / d_2 = -0.4396$ | | | |
| | (6) $ \beta / \beta_3 = 0.6378$ | | | |
| | (7) $ \beta / \beta_4 = -0.1992$ | | | |
| 25 | (8) $ d_3 / d_2 = 0.0539$ | | | |

図15は、第7実施例における横収差を示す図である。収差図におい

て、 y は像高を、実線は中心波長 157.624 nm を、破線は $157.624\text{ nm} + 1\text{ pm} = 157.6625\text{ nm}$ を、一点鎖線は $157.624\text{ nm} - 1\text{ pm} = 157.623\text{ nm}$ をそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第7実施例では、波長幅が $157.624\text{ nm} \pm 1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。
また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第7実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が 157.624 nm の F_2 レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡 $M1$ を大型化することなく、 0.75 の像側 NA を確保するとともに、ウエハ上で 16.4 mm のイメージサークルを確保することができる。
従って、第7実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の高解像を達成することができる。また、第7実施例では、露光領域を直径 16.4 mm のイメージサークル内で $15\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ の矩形状に設定することができる。ここで、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば $30\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ の領域にマスクパターンを転写することができる。

〔第8実施例〕

図16は、第8実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第8実施例では、第7実施例と同様に、波長幅が $157.624\text{ nm} \pm 1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図16の反射屈折結像光学系は、マスク3の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系 $K1$ と、前記中間像からの光に基づいてマスク3の最終像を縮小倍率でウエハ9上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系 $K2$ と、両光学系 $K1$ 、 $K2$ に挟まれた色収差補正レンズ L

3とを備えている。そして、第1結像光学系K1は、マスク3側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、開口絞りSと、正屈折力の第2レンズ群G2とを有し、第2結像光学系K2は、中央部に第1光通過部AP1を有する負屈折力の第1反射面R1からなる主鏡M1と、中央部に
5 第2光通過部AP2を有する第2反射面R2からなる副鏡M2とを有している。

第1レンズ群G1は、マスク側から順に、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL11と、ウエハ側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズL12と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた
10 両凸レンズL13と、マスク側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL14と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL15とから構成されている。

また、第2レンズ群G2は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL21と、マスク側に非球面形状の凹面を
15 向けたメニスカスレンズL22と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL23と、マスク側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL24と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL25と、ウエハ側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズL26と、マスク側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL27と、
20 マスク側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズL28とから構成されている。

さらに、第2レンズ群G2の後方の中間像が形成される位置の後側であって、主鏡M1に設けた第1光透過部AP1の手前には、球面形状の両凹レンズである色収差補正レンズL3が配置されている。

25 また、第1結像光学系K1は、光軸AXの方向において開口絞りSとは異なる位置に配置されて光軸AX近傍の光を遮光する中心遮蔽部材B

を有する。

かかる構成において、第1結像光学系K1からの光は、色収差補正レンズL3を通過し、主鏡M1の第1光透過部AP1を経て第2反射面R2で反射される。第2反射面R2で反射された光は、第1反射面R1で
5 反射され、第1反射面R1で反射された光が副鏡M2の第2光透過部AP2を介してウエハ面9上に最終像を形成する。

以下の表8に、第8実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。

【表8】

(主要諸元)

| | | | | |
|----|---|-----------|----------|-------------------|
| 10 | $\lambda = 157.624 \text{ nm} \pm 1 \text{ pm}$ | | | |
| | $\beta = 0.2500$ | | | |
| | $NA = 0.75$ | | | |
| | $\phi = 19.5 \text{ mm}$ | | | |
| | $\Delta n / \Delta \lambda = -2.4 \times 10^{-6} (\Delta \lambda = 1 \text{ pm})$ | | | |
| 15 | 面番号 | r | d | n |
| | (マスク面) | | 74.6950 | |
| | 1 | -122.0212 | 20.0000 | 1.559238 (レンズL11) |
| | 2* | -426.3504 | 11.7819 | |
| | 3 | -170.7647 | 31.8207 | 1.559238 (レンズL12) |
| 20 | 4 | -112.7426 | 1.0000 | |
| | 5 | 677.6138 | 30.9654 | 1.559238 (レンズL13) |
| | 6* | -267.5441 | 312.5891 | |
| | 7* | -457.1505 | 25.0000 | 1.559238 (レンズL14) |
| | 8 | -136.1132 | 1.0000 | |
| 25 | 9 | 371.1954 | 40.0000 | 1.559238 (レンズL15) |
| | 10* | 90.1479 | 33.3921 | |

85

| | | | | | |
|----|------|------------|-----------|----------|-------------|
| | 11 | ∞ | 14.7189 | | (開口絞り S) |
| | 12 * | 81.7494 | 31.6956 | 1.559238 | (レンズ L 2 1) |
| | 13 | -183.7422 | 11.6085 | | |
| | 14 * | -78.5623 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズ L 2 2) |
| 5 | 15 | -139.7036 | 16.2402 | | |
| | 16 * | 164.6923 | 27.8376 | 1.559238 | (レンズ L 2 3) |
| | 17 | -179.3500 | 4.8040 | | |
| | 18 * | -126.8087 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズ L 2 4) |
| | 19 | 835.6533 | 1.0142 | | |
| 10 | 20 | 527.3214 | 30.0000 | 1.559238 | (レンズ L 2 5) |
| | 21 * | 471.2666 | 68.6599 | | |
| | 22 | -393.2785 | 39.0529 | 1.559238 | (レンズ L 2 6) |
| | 23 | -162.7512 | 5.1881 | | |
| | 24 * | -371.2256 | 39.8874 | 1.559238 | (レンズ L 2 7) |
| 15 | 25 | -127.4034 | 1.0000 | | |
| | 26 | 124.0028 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズ L 2 8) |
| | 27 | 6784.0168 | 72.8779 | | |
| | 28 | -236.1546 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズ L 3) |
| | 29 | 90.5253 | 10.0000 | | |
| 20 | 30 | 425.4284 | 280.1707 | | |
| | 31 | -3000.0000 | -280.1707 | | (反射面 R 1) |
| | 32 | 425.4284 | 280.1707 | | (反射面 R 2) |
| | 33 | -3000.0000 | 13.0000 | | |
| | | (ウエハ面) | 0.0000 | | |

25

(非球面データ)

86

| | | | | |
|----|------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 面 | -426.3504 | 0.00000 | 9.6251×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 4.0983×10^{-12} | -1.1849×10^{-16} | -6.65×10^{-20} |
| 5 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 4.8020×10^{-24} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 6 面 | -267.5441 | 0.00000 | -3.3841×10^{-8} |
| 10 | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.4196×10^{-12} | -3.0000×10^{-17} | 3.63×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -9.7759×10^{-26} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 15 | 7 面 | -457.1505 | 0.00000 | -6.0739×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.1163×10^{-11} | -2.1261×10^{-15} | -2.42×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 20 | | 6.4066×10^{-25} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 10 面 | 90.1479 | 0.00000 | -8.5414×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 25 | | 7.9335×10^{-12} | 1.2430×10^{-15} | -5.82×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |

87

$$-2.3671 \times 10^{-23} \quad 0.00000$$

| | | | | |
|----|-------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 2 面 | 81.7494 | 0.00000 | -4.7617×10^{-7} |
| 5 | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -2.5968×10^{-11} | -4.8510×10^{-15} | -5.94×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -7.0871×10^{-23} | 0.00000 | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 1 4 面 | 78.5623 | 0.00000 | 1.9520×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 4.6563×10^{-11} | 7.8448×10^{-15} | -1.83×10^{-18} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 2.1847×10^{-22} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 6 面 | 164.6923 | 0.00000 | 1.1464×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 20 | | -1.5979×10^{-11} | -9.7522×10^{-15} | 1.03×10^{-18} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -4.2695×10^{-22} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| 25 | 1 8 面 | -126.8087 | 0.00000 | -1.0844×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |

88

| | | | | |
|----|-------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | 7.1372×10^{-12} | 1.7680×10^{-14} | -4.12×10^{-18} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 3.4001×10^{-22} | 0.00000 | |
| 5 | | r | κ | C_4 |
| | 2 1 面 | 471.2666 | 0.00000 | 1.3727×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 2.1789×10^{-12} | 3.8522×10^{-15} | -3.43×10^{-18} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 10 | | 5.1822×10^{-22} | 0.00000 | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 4 面 | -371.2256 | 0.00000 | -6.8599×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 15 | | -8.4200×10^{-13} | -1.4460×10^{-16} | 1.80×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 1.3348×10^{-24} | 0.00000 | |

(条件式対応値)

- 20 $f_2 = -114.5$
 $d_2 = 280.2$
 $d_3 = 13.0$
 $\beta = 0.20$
 $\beta_3 = 0.378$
- 25 $\beta_4 = -1.330$
 (5) $f_2 / |d_2| = -0.4087$

$$(6) \quad |\beta / \beta_3| = 0.5288$$

$$(7) \quad |\beta / \beta_4| = -0.1504$$

$$(8) \quad |d_3 / d_2| = 0.0464$$

図17は、第8実施例における横収差を示す図である。収差図において、 y は像高を、実線は中心波長157.624nmを、破線は157.624nm+1pm=157.6625nmを、一点鎖線は157.624nm-1pm=157.623nmをそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第8実施例では、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第8実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.624nmの F_2 レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、ウエハ上で19.5mmのイメージサークルを確保することができる。

従って、第8実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1μm以下の高解像を達成することができる。また、第8実施例では、露光領域を直径19.5mmのイメージサークル内で18mm×7.5mmの矩形状に設定することができる。ここで、1回のスキャン露光により、例えば18mm×33mmの領域にマスクパターンを転写することができる。また、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば36mm×50mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

〔第9実施例〕

図18は、第9実施例にかかる反射屈折結像光学系（投影光学系）のレンズ構成を示す図である。第9実施例では、第7実施例と同様に、波

長幅が $157.624\text{ nm} \pm 1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差を含む諸収差が補正された投影光学系に本発明を適用している。

図18の反射屈折結像光学系は、マスク3の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系K1と、前記中間像からの光に基づいてマスク3の最終像を縮小倍率でウエハ9上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系K2と、両光学系K1、K2に挟まれた色収差補正レンズL3とを備えている。そして、第1結像光学系K1は、マスク3側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、開口絞りSと、正屈折力の第2レンズ群G2とを有し、第2結像光学系K2は、中央部に第1光通過部AP1を有する負屈折力の第1反射面R1からなる主鏡M1と、中央部に第2光通過部AP2を有する第2反射面R2からなる副鏡M2とを有している。

第1レンズ群G1は、マスク側から順に、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL11と、ウエハ側に凸面を向けた両球面形状のメニスカスレンズL12と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL13と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL14と、マスク側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL15と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL16とから構成されている。

また、第2レンズ群G2は、マスク側から順に、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL21と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL22と、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL23と、マスク側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL24と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けたメニスカスレンズL25と、マスク側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL26と、球面形状の両凸レンズL27と、マスク側に非球面形状の凸

面を向けた両凸レンズL 2 8 と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けたメニスカスレンズL 2 9 と、ウエハ側に凸面を向けた球面形状のメニスカスレンズL 2 0 とから構成されている。

さらに、第2レンズ群G 2 の後方の中間像が形成される位置の後側であって、主鏡M 1 に設けた第1光透過部A P 1 の手前には、球面形状の両凹レンズである色収差補正レンズL 3 が配置されている。

また、第1結像光学系K 1 は、光軸A X の方向において開口絞りSとは異なる位置に配置されて光軸A X 近傍の光を遮光する中心遮蔽部材Bを有する。

かかる構成において、第1結像光学系K 1 からの光は、色収差補正レンズL 3 を通過し、主鏡M 1 の第1光透過部A P 1 を経て第2反射面R 2 で反射される。第2反射面R 2 で反射された光は、第1反射面R 1 で反射され、第1反射面R 1 で反射された光が副鏡M 2 の第2光透過部A P 2 を介してウエハ面9上に最終像を形成する。

以下の表9に、第9実施例の反射屈折結像光学系の諸元の値を掲げる。

【表9】

(主要諸元)

$$\lambda = 157.624 \text{ nm} \pm 1 \text{ pm}$$

$$\beta = 0.2500$$

$$NA = 0.75$$

$$\phi = 26.4 \text{ mm}$$

$$\Delta n / \Delta \lambda = -2.4 \times 10^{-6} (\Delta \lambda = 1 \text{ pm})$$

| 面番号 | r | d | n | |
|-----|-----------|---------|----------|------------|
| | (マスク面) | 75.8647 | | |
| 1 | -138.8650 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 1) |
| 2* | -178.8588 | 12.1586 | | |

| | | | | | |
|----|-----|-------------|----------|----------|------------|
| | 3 | -391.5927 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 2) |
| | 4 | -130.5445 | 12.6974 | | |
| | 5 | -1084.4149 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 3) |
| | 6* | -200.0000 | 1.0000 | | |
| 5 | 7 | 17587.7644 | 20.5646 | 1.559238 | (レンズL 1 4) |
| | 8* | 288.1756 | 170.5608 | | |
| | 9* | -1672.9950 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 1 5) |
| | 10 | -281.6585 | 53.0696 | | |
| | 11* | 2601.8744 | 20.0000 | | |
| 10 | 12 | -882.4457 | 6.8108 | | |
| | 13 | ∞ | 8.2949 | | (開口絞りS) |
| | 14* | 862.4100 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 2 1) |
| | 15 | 279.7040 | 1.0000 | | |
| | 16* | 200.9038 | 37.7536 | 1.559238 | (レンズL 2 2) |
| 15 | 17 | -24029.7696 | 33.4585 | | |
| | 18* | 1180.0586 | 40.0000 | 1.559238 | (レンズL 2 3) |
| | 19 | 182.3363 | 1.0000 | | |
| | 20* | 147.6961 | 39.7606 | 1.559238 | (レンズL 2 4) |
| | 21 | -23525.3704 | 16.8400 | | |
| 20 | 22 | 1074.5932 | 39.6090 | 1.559238 | (レンズL 2 5) |
| | 23* | 3065.3181 | 3.6505 | | |
| | 24* | 1780.4798 | 20.0000 | 1.559238 | (レンズL 2 6) |
| | 25 | 867.2991 | 43.1760 | | |
| | 26 | 488.6712 | 29.7592 | 1.559238 | (レンズL 2 7) |
| 25 | 27 | -250.0000 | 1.0000 | | |
| | 28* | 652.1667 | 24.0002 | 1.559238 | (レンズL 2 8) |

93

| | | | | |
|----|------|------------|-----------|----------------------|
| | 29 | -250.0000 | 1.0000 | |
| | 30 | -508.1135 | 40.0000 | 1.559238 (レンズ L 2 9) |
| | 31 * | -195.7954 | 1.0000 | |
| | 32 | -662.4741 | 20.0000 | 1.559238 (レンズ L 2 0) |
| 5 | 33 | -258.5729 | 72.4163 | |
| | 34 | -143.5452 | 20.0000 | 1.559238 (レンズ L 3) |
| | 35 | 114.3829 | 15.0000 | |
| | 36 | 436.0719 | 290.6011 | |
| | 37 * | -2770.8948 | -290.6011 | (反射面 R 1) |
| 10 | 38 | 436.0719 | 290.6011 | (反射面 R 2) |
| | 39 * | -2770.8948 | 13.0000 | |
| | | (ウエハ面) | 0.0000 | |

(非球面データ)

| | | | | |
|----|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 15 | r | κ | C_4 | |
| | 2 面 | -178.8588 | 0.00000 | 1.3991×10^{-7} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} | |
| | 4.0015×10^{-12} | 3.5814×10^{-16} | 2.6293×10^{-20} | |
| | C_{12} | C_{14} | | |
| 20 | -7.5676×10^{-24} | 3.1558×10^{-28} | | |

| | | | | |
|----|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | r | κ | C_4 | |
| | 6 面 | -200.0000 | 0.00000 | 5.1509×10^{-8} |
| | C_6 | C_8 | C_{10} | |
| 25 | -5.6993×10^{-12} | 7.4009×10^{-17} | -1.0761×10^{-20} | |
| | C_{12} | C_{14} | | |

94

| | | | | |
|----|-------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | 1.2317×10^{-24} | -3.9961×10^{-29} | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 8 面 | 288.1756 | 0.00000 | -1.1026×10^{-7} |
| 5 | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.4610×10^{-12} | 2.9376×10^{-16} | -9.3449×10^{-21} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.8853×10^{-25} | 1.7087×10^{-30} | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 9 面 | -1672.9950 | 0.00000 | -1.5740×10^{-7} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -2.5860×10^{-11} | -1.4744×10^{-15} | -2.5569×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 3.1809×10^{-24} | -6.7776×10^{-27} | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 1 1 面 | 2601.8744 | 0.00000 | 2.1540×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 20 | | 5.9335×10^{-11} | 1.1166×10^{-16} | -4.9143×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 4.7574×10^{-23} | 7.5819×10^{-28} | |
| | | r | κ | C_4 |
| 25 | 1 4 面 | 862.4100 | 0.00000 | -6.8114×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |

95

$$\begin{array}{ccc} -4.9305 \times 10^{-11} & 8.9448 \times 10^{-16} & -5.2007 \times 10^{-20} \end{array}$$

 C_{12} C_{14}

$$-6.9020 \times 10^{-23}$$

$$3.8255 \times 10^{-27}$$

5

 r κ C_4

1 6 面

$$200.9038$$

$$0.00000$$

$$-5.7478 \times 10^{-8}$$

 C_6 C_8 C_{10}

$$-8.1295 \times 10^{-12}$$

$$-3.5513 \times 10^{-15}$$

$$-6.3355 \times 10^{-19}$$

 C_{12} C_{14}

10

$$7.6282 \times 10^{-23}$$

$$-3.7090 \times 10^{-26}$$

 r κ C_4

1 8 面

$$1180.0586$$

$$0.00000$$

$$-6.5369 \times 10^{-8}$$

 C_6 C_8 C_{10}

15

$$9.5726 \times 10^{-12}$$

$$5.8529 \times 10^{-15}$$

$$5.9762 \times 10^{-20}$$

 C_{12} C_{14}

$$6.1398 \times 10^{-24}$$

$$-9.6136 \times 10^{-27}$$

 r κ C_4

20 2 0 面

$$147.6961$$

$$0.00000$$

$$-1.6135 \times 10^{-8}$$

 C_6 C_8 C_{10}

$$1.2448 \times 10^{-11}$$

$$-2.7569 \times 10^{-15}$$

$$2.1810 \times 10^{-19}$$

 C_{12} C_{14}

$$1.2477 \times 10^{-24}$$

$$-4.7232 \times 10^{-27}$$

25

 r κ C_4

96

| | | | | |
|----|-------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 5 | 2 3 面 | 3065.3181 | 0.00000 | 7.8083×10^{-9} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 1.2104×10^{-11} | 2.9461×10^{-15} | -2.1647×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | 3.1859×10^{-23} | 3.7037×10^{-27} | |
| 10 | | r | κ | C_4 |
| | 2 4 面 | 1780.4798 | 0.00000 | -6.1057×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | -1.3001×10^{-11} | 1.7148×10^{-15} | -1.9337×10^{-19} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| 15 | | 1.5140×10^{-23} | 7.5042×10^{-28} | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 2 8 面 | 652.1667 | 0.00000 | -7.1641×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| | | 9.5614×10^{-12} | 7.2067×10^{-16} | 3.0907×10^{-20} |
| 20 | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -7.4253×10^{-24} | 1.4707×10^{-28} | |
| | | r | κ | C_4 |
| | 3 1 面 | -195.7954 | 0.00000 | 3.0509×10^{-8} |
| | | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 25 | | 8.0986×10^{-12} | 4.9520×10^{-16} | 9.3365×10^{-20} |
| | | C_{12} | C_{14} | |
| | | -1.6508×10^{-23} | 2.8405×10^{-27} | |

| | r | κ | C_4 |
|-------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 3 7 面 | -2770.8948 | 0.00000 | 1.2052×10^{-9} |
| 3 9 面 | C_6 | C_8 | C_{10} |
| 5 | -3.9716×10^{-16} | -7.0721×10^{-20} | 6.5028×10^{-25} |
| | C_{12} | C_{14} | |
| | -2.3785×10^{-30} | 1.6673×10^{-35} | |

(条件式対応値)

10 $f_2 = -110.7$

$d_2 = 290.6$

$d_3 = 13.0$

$\beta = 0.25$

$\beta_3 = 0.392$

15 $\beta_4 = -1.349$

(5) $f_2 / |d_2| = -0.3811$

(6) $|\beta / \beta_3| = 0.6378$

(7) $|\beta / \beta_4| = -0.1854$

(8) $|d_3 / d_2| = 0.0447$

20 図19は、第9実施例における横収差を示す図である。収差図において、 y は像高を、実線は中心波長157.624nmを、破線は157.624nm+1pm=157.6625nmを、一点鎖線は157.624nm-1pm=157.623nmをそれぞれ示している。収差図から明らかなように、第9実施例では、波長幅が157.624nm±1pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

25 また、図示を省略したが、球面収差、非点収差、歪曲収差などの諸収差

も良好に補正されていることが確認されている。

以上のように、第9実施例の反射屈折結像光学系では、中心波長が157.624 nmのF₂レーザ光に対して、少ないレンズ枚数で、主鏡M1を大型化することなく、0.75の像側NAを確保するとともに、
5 ウエハ上で26.4 mmのイメージサークルを確保することができる。
従って、第8実施例の反射屈折結像光学系を投影露光装置に適用した場合、0.1 μm以下の高解像を達成することができる。また、第9実施例では、露光領域を直径26.4 mmのイメージサークル内で25 mm×8.5 mmの矩形状に設定することができる。ここで、1回のスキャン
10 ン露光により、例えば25 mm×33 mmの領域にマスクパターンを転写することができる。また、2回のスキャン露光を用いた継ぎ露光を行うことにより、例えば50 mm×65 mmの領域にマスクパターンを転写することができる。

(第4実施形態)

15 図20は、本発明の第4実施形態にかかる光学装置のウエハ近傍部分を拡大して説明する図である。反射屈折結像光学系の基本構成は上記第2及び第3実施形態と同様であるので説明を省略する。なお、図20では、第2実施形態の反射屈折結像光学系8に対応させてレンズ成分L2を描いているが、第3実施形態の反射屈折結像光学系8の場合、レンズ
20 成分L2に相当するものが存在しない。

本実施形態では、ウエハの位置を検出するためのウエハ位置検出系を有している点が上記第2実施形態等と異なる。ウエハ位置検出系は、送光系20と、受光系22と、光電変換部24とから構成されている。送光系20からのウエハ位置検出用光束（以下、「AF光」という。）は、
25 副鏡M2の母材の側面S1から入射し、副鏡M2のマスク側の面とウエハ側の面との間で反射されるように副鏡の母材の内部を進行した後、母

材の側面 S 2 から射出して、第 2 光透過部 A P 2 をウエハ 9 に投影した領域内でウエハ 9 の表面に到達する。次に、ウエハ 9 で反射された A F 光は、副鏡 M 2 の母材の側面 S 3 から入射し、副鏡 M 2 のマスク側の面とウエハ側の面との間で反射されるように副鏡の母材の内部を進行した
5 後、母材の側面 S 4 から射出する。そして、集光光学系 2 2 にて光電変換部 2 4 の受光面に集光される。演算処理部 2 6 は、光電変換部 2 4 からの信号に基づいてウエハ 9 の位置検出、即ち、焦点検出及びウエハ面の傾き検出の少なくとも一方を行う。ウエハ 9 はウエハホルダ 1 0 上に保持されており、ウエハホルダ 1 0 はウエハステージ 1 1 に搭載されて
10 いる。ウエハステージ 1 1 は演算処理部 2 6 による検出結果に基づいて駆動を制御され、これによりウエハ 9 は光軸 A X 方向の位置、又は光軸 A X に対する傾きを変えられて、最終的にマスク 3 の像がウエハ 9 上の最適位置に投影されるようにオートフォーカス及びレベリング調整が制御される。

15 このような焦点検出及びウエハ面の傾き検出については、本願と同一出願人による上述の特開平 6 - 6 6 5 4 3 号公報、特開平 8 - 2 1 9 7 1 8 号公報、特開平 9 - 3 0 4 0 1 6 号公報又は特開平 1 0 - 8 2 6 1 1 号公報に開示されている装置が好適である。

20 また、図 2 1 に示すように、副鏡 M 2 の側面 S 1 ~ S 4 を A F 光に対してほぼ垂直な平面とすることでさらに正確に焦点検出を行うことが出来る。さらに、副鏡 M 2 は円筒形状であるため A F 光に非点収差が生じてしまう。このため、図 2 2 に示すように、副鏡 M 2 に対して A F 光が入射する部分 S 1 ~ S 4 を直線状に形成することで、かかる非点収差の発生を回避し、高精度に焦点検出を行うことができる。

25 さて、上述の各実施形態の投影露光装置は、以下の手法により製造することができる。

まず、180 nmよりも短い中心波長の照明光によってマスク上のパターンを照明するための照明光学系を準備する。具体的には、中心波長が157.6 nmのF₂レーザ光を用いてマスクパターンを照明する照明光学系を準備する。このとき、照明光学系は、所定の半値全幅以内の
5 スペクトル幅の照明光を供給するように構成される。

次いで、マスク上のパターンの像を感光性基板上の感光面に結像するための投影光学系を準備する。投影光学系を準備することは、複数の屈折性光学素子や反射鏡などを準備して、これら複数の屈折性光学素子などを組上げることを含むものである。そして、これらの照明光学系およ
10 び投影光学系を前述の機能を達成するように電氣的、機械的または光学的に連結することにより、各実施形態にかかる投影露光装置を製造することができる。

また、上述の各実施例では、投影光学系を構成する屈折性の光学部材の材料としてCaF₂（フッ化カルシウム）を使用しているが、このCaF₂に加えて、あるいはCaF₂に代えて、例えばフッ化バリウム、
15 フッ化リチウム、およびフッ化マグネシウムなどのフッ化物の結晶材料やフッ素がドーピングされた石英を使用しても良い。但し、マスクを照明する照明光において十分な狭帯化が可能であるならば、投影光学系は単一
種類の光学材料で構成することが好ましい。さらに、投影光学系の製造
20 のし易さや製造コストを考えると、投影光学系はCaF₂のみで構成されることが好ましい。

また、上述の第1実施形態では、副鏡に隣接するレンズ成分に反射面を設けることにより副鏡を裏面反射面としたが、副鏡を表面反射面として副鏡に隣接するレンズ成分と分離させてもよい。この場合、副鏡の反
25 射面形状が副鏡に隣接するレンズ成分の熱吸収等による表面形状変化の影響を受けずに済む利点がある。

なお、上述の各実施形態では、光源からウエハへ至る光路をヘリウムガスで置換しているが、光路の一部あるいは全部を窒素 (N_2) ガスで置換しても良い。

さらに、上述の各実施形態では、光源として F_2 レーザを用い、狭帯
5 化装置によりそのスペクトル幅を狭帯化しているが、その代わりに、
15 57 nm に発振スペクトルを持つ YAG レーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB 半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザ光を、
例えばエルビウム (Er) (またはエルビウム (Er) とイッテルビウム (Yb) との両方) がドーピングされたファイバーアンプで増幅し、非線
10 形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザ光の発振波長を 1.51 ~ 1.59 μm の範囲内とすると、発生波長が 151 ~ 159 nm の範囲内である 10 倍高調波が出力される。特に発振波長を 1.57 ~ 1.58 μm の範囲内と
15 すると、発生波長が 157 ~ 158 nm の範囲内の 10 倍高調波、すなわち F_2 レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。また、発振波長を 1.03 ~ 1.12 μm の範囲内とすると、発生波長が 147 ~ 160 nm の範囲内である 7 倍高調波が出力され、特に発振波長を 1.099 ~ 1.106 μm の範囲内とすると、発生波長が 157 ~ 158
20 μm の範囲内の 7 倍高調波、すなわち F_2 レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。なお、単一波長発振レーザとしては、イッテルビウム (Yb) ・ドーピング・ファイバーレーザを用いる。

このように、レーザ光源からの高調波を使用する場合には、この高調波自体が十分に狭帯化されたスペクトル幅 (例えば 0.3 pm 以下) で
25 あるので、上述の各実施形態の光源 1 の代わりに用いることができる。

さて、本発明は、ウエハ上の 1 つのショット領域へマスクパターン像

- を一括的に転写した後に、投影光学系の光軸と直交する面内でウエハを逐次二次元的に移動させて次のショット領域にマスクパターン像を一括的に転写する工程を繰り返すステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハの各ショット領域への露光時にマスクとウエハとを
- 5 投影光学系に対して投影倍率 β を速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式（走査露光方式）の双方に適用することができる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット状（細長い矩形状）の露光領域内で良好な結像特性が得られればよいため、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域に露光を行う
- 10 ことができる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式における露光領域の形状としては、長方形状に限られず、例えば等脚台形状、不等脚台形状、菱形状、六角形状、円弧形状等の様々な形状とすることができる。

- 次に、上記実施形態の投影露光装置を用いてステップ・アンド・スキャン方式でウエハ上に所定の回路パターンを形成する際の動作の一例につき図23のフローチャートを参照して説明する。先ず、図23のステップS1において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。ステップS2において、その1ロットのウエハ9上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップS3において、第1～第3実施形態の投影光学系8（図2、4、6、8、10、12、14、16、18）
- 15 を備えた図1の投影露光装置を用いて、レチクル3上のパターンの像がその投影光学系8を介して、その1ロットのウエハ9上の各ショット領域に順次露光転写される。そして、ステップS4において、その1ロットのウエハ9上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップS5において、その1ロットのウエハ9上でレジストパターンをマスクとして
- 20 エッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。その後、更

に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

- ところで、上述の各実施形態では、半導体素子の製造に用いられる投影露光装置に本発明を適用している。しかしながら、半導体素子の製造
- 5 に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。また、
- 10 レチクルまたはマスクを製造するためにガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも、本発明を適用することができる。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されることなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることはいうまでもない。

請求の範囲

1. 第1面の一次像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記第1面の二次像を縮小倍率で第2面上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、

前記第1結像光学系は、第1面側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第2レンズ群とを有し、

前記第2結像光学系は、凹面状に形成された表面反射面を有し且つ中央に第1の光通過部を有する主鏡と、中央に第2の光通過部を有する反射面を備えた副鏡と、該副鏡の前記主鏡側に隣接して配置されて負の屈折力を有するレンズ成分とを有し、

前記一次像からの光が前記主鏡の前記第1の光通過部および前記レンズ成分を介して前記副鏡で反射され、前記副鏡で反射された光が前記レンズ成分を介して前記主鏡で反射され、前記主鏡で反射された光が前記レンズ成分および前記副鏡の前記第2の光通過部を介して前記第2面上に前記二次像を形成し、

前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材は同じ屈折率を有する光学材料により形成されていることを特徴とする反射屈折結像光学系。

20

2. 第1面の一次像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、前記一次像からの光に基づいて前記第1面の二次像を縮小倍率で第2面上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、

前記第1結像光学系は、第1面側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第2レンズ群とを有し、

25

前記第 2 結像光学系は、凹面状に形成された表面反射面を有し且つ中央に第 1 の光通過部を有する主鏡と、中央に第 2 の光通過部を有する反射面を備えた副鏡と、該副鏡の前記主鏡側に隣接して配置されたレンズ成分とを有し、

- 5 前記一次像からの光が前記主鏡の前記第 1 の光通過部および前記レンズ成分を介して前記副鏡で反射され、前記副鏡で反射された光が前記レンズ成分を介して前記主鏡で反射され、前記主鏡で反射された光が前記レンズ成分および前記副鏡の前記第 2 の光通過部を介して前記第 2 面上に前記二次像を形成し、
- 10 前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折面および反射面のうちの少なくとも 1 つの面は非球面形状に形成されていることを特徴とする反射屈折結像光学系。

3. 前記副鏡の前記反射面は、前記副鏡に隣接して配置された前記レンズ成分の屈折面上に設けられていることを特徴とする請求項 1 および
- 15 2 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

4. 前記副鏡の前記反射面は、前記主鏡側に凹面を向けた形状に形成されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 のいずれか 1 項に記載の反
- 20 射屈折結像光学系。

5. 前記副鏡に隣接して配置された前記レンズ成分の前記主鏡側の屈折面は、前記主鏡側に凹面を向けた形状に形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の反射屈折結像光学系。

25

6. 前記副鏡に隣接して配置された前記レンズ成分の前記主鏡側の屈

折面は、前記主鏡側に凹面を向けた形状に形成されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

7. 前記副鏡に隣接して配置された前記レンズ成分の前記主鏡側の屈折面の曲率半径を R とし、前記副鏡の有効径を D とするとき、

$$0.03 < D/|R| < 1.0$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 6 に記載の反射屈折結像光学系。

8. 前記主鏡と前記副鏡との間の光路中に配置される屈折光学部材は、前記副鏡に隣接して配置された前記レンズ成分のみであることを特徴とする請求項 1 及び 2 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

9. 前記第 2 結像光学系を構成するすべての屈折面および反射面のうちの少なくとも 1 つの面は、非球面形状に形成されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

10. 前記第 1 結像光学系を構成するすべての屈折面のうちの少なくとも 1 つの面は、非球面形状に形成されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

11. 前記第 2 結像光学系中の屈折面および反射面のうちの少なくとも 1 つの面は非球面形状に形成され、

- 前記第 1 結像光学系中の前記第 1 レンズ群および前記第 2 レンズ群の各々は、少なくとも 1 つの非球面形状の屈折面を有することを特徴とする請求項 2 に記載の反射屈折結像光学系。

1 2. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズのうちの少なくとも80%のレンズは、一方の屈折面が非球面形状に形成され且つ他方の屈折面が球面形状に形成されていることを特徴とする請求項2及び11のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

1 3. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズのうちの少なくとも80%のレンズは、一方の屈折面が非球面形状に形成され且つ他方の屈折面が球面形状に形成されていることを特徴とする請求項9に記載の反射屈折結像光学系。

1 4. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズのうちの少なくとも80%のレンズは、一方の屈折面が非球面形状に形成され且つ他方の屈折面が球面形状に形成されていることを特徴とする請求項10に記載の反射屈折結像光学系。

1 5. 前記第1結像光学系中の前記開口絞りは、前記第1レンズ群の後側焦点位置の近傍に配置され、

前記反射屈折結像光学系は、前記第1面側および前記第2面側にテレセントリックな光学系を構成していることを特徴とする請求項1及び2のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

1 6. 前記第1結像光学系の結像倍率を β_1 とし、前記第2結像光学系の結像倍率を β_2 とするとき、

0.7 < $|\beta_1 / \beta_2|$ < 3.5

の条件を満足することを特徴とする請求項1及び2のいずれか1項に記

載の反射屈折結像光学系。

17. 第1面の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、
前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を縮小倍率で第2面
5 上に形成するための反射屈折型の第2結像光学系とを備えた反射屈折結
像光学系であって、

前記第1結像光学系は、前記第1面側から順に、正屈折力の第1レン
ズ群と、開口絞りと、正屈折力の第2レンズ群とを有し、

- 前記第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有する負屈折力の第
10 1反射面からなる主鏡と、中央部に第2光通過部を有する第2反射面か
らなる副鏡と、前記第1反射面及び前記第2反射面から離間されている
屈折部材とを有し、

- 前記第1結像光学系からの光が前記主鏡の前記第1光通過部と前記屈
折部材とを介して前記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射さ
15 れた光が前記屈折部材を介して前記第1反射面で反射され、前記第1反
射面で反射された光が前記屈折部材と前記副鏡の前記第2光通過部とを
介して前記第2面上に最終像を形成することを特徴とする反射屈折結像
光学系。

- 20 18. 前記屈折部材は負の屈折力を有し、

前記屈折部材の焦点距離を f_1 とし、前記副鏡と前記屈折部材との光
軸に沿った間隔を d_1 とするとき、

$$-85 < f_1 / d_1 < -10$$

- の条件を満足することを特徴とする請求項17に記載の反射屈折結像光
25 学系。

19. 前記屈折部材は、前記第2面側に凹面を向けた屈折面を有することを特徴とする請求項17に記載の反射屈折結像光学系。

20. 前記第1結像光学系の結像倍率を β_1 とし、前記第2結像光学系の結像倍率を β_2 とするとき、

$$0.6 < |\beta_1 / \beta_2| < 3.5$$

の条件を満足する請求項17に記載の反射屈折結像光学系。

21. 第1面の中間像を形成するための第1結像光学系と、前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を縮小倍率で第2面上に形成するための第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、

前記第1及び第2結像光学系のうちの一方は、中央部に第1光通過部を有する負屈折力の第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2光通過部を備える第2反射面を備える副鏡とを有し、

15 前記主鏡及び前記副鏡は、前記第1光通過部へ向かう光が前記第1光通過部を介して前記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光が前記副鏡の前記第2光通過部を通過するように位置決めされ、

前記反射屈折結像光学系は、前記第1及び第2反射面で反射されずに
20 前記第2面へ向かう光を遮蔽するための中心遮蔽部材と、開口径が可変に構成された可変開口絞りとを備え、

前記中心遮蔽部材と前記開口絞りとは、前記反射屈折結像光学系の光軸方向で互いに異なる位置に配置されることを特徴とする反射屈折結像光学系。

25

22. 前記第1結像光学系は、前記第1面側から順に、正屈折力の第

1 レンズ群と、前記可変開口絞りと、正屈折力の第2レンズ群とを備え、
前記第2結像光学系は、前記主鏡及び前記副鏡とを備え、
前記中心遮蔽部材は、前記第1結像光学系中に配置されることを特徴
とする請求項21記載の反射屈折結像光学系。

5

23. 第1面の中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系と、
前記中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を縮小倍率で第2面
上に形成するための第2結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であ
って、

10 前記第1結像光学系は、前記第1面側から順に、正屈折力の第1レン
ズ群と、開口絞りと、正屈折力の第2レンズ群とを有し、

前記第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有し且つ負屈折力の
第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2光通過部を有する第2反射面
を備える副鏡とを有し、

15 前記第2結像光学系へ入射する光が前記主鏡の前記第1光通過部を介
して前記第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記
第1反射面で反射され、前記第1反射面で反射された光が前記副鏡の前
記第2光通過部を介して前記第2面上に前記最終像を形成し、

前記反射屈折結像光学系が有する屈折部材は、前記第1面と前記第2
20 面との間の光路のうち、前記第1光通過部と前記第2光通過部との間を
除いた部分にのみ配置されることを特徴とする反射屈折結像光学系。

24. 前記中間像と前記第1反射面との間の光路中であって、かつ前
記第1光通過部と前記第2光通過部との間を除いた光路に配置された色
25 収差補正レンズをさらに備えることを特徴とする請求項23に記載の反
射屈折結像光学系。

25. 前記中間像と前記第1反射面と間に配置された前記色収差補正負レンズの焦点距離を f_2 とし、前記第1反射面と前記第2反射面との距離を d_2 とすると、

5 $-1.10 < f_2 / |d_2| < -0.15$

の条件を満足することを特徴とする請求項23に記載の反射屈折結像光学系。

26. 前記第1レンズ群の後側焦点位置近傍に、前記第2結像光学系の中心に入射する光を遮断する中心遮蔽部材が配置されることを特徴とする請求項23に記載の反射屈折結像光学系。

10

27. 前記第1レンズ群は、瞳の像面湾曲を有し、前記中心遮蔽部材と前記開口絞りとは、前記第1結像光学系の光軸方向で離れた位置に配置されることを特徴とする請求項23に記載の反射屈折結像光学系。

15

28. 前記第1面側及び前記第2面側ともにテレセントリック光学系であること特徴とする請求項23に記載の反射屈折結像光学系。

29. 10以上の屈折面を有し、当該屈折面のうち、少なくとも5面が非球面形状を有すること特徴とする請求項23に記載の反射屈折結像光学系。

20

30. 前記反射屈折結像光学系の全系の結像倍率を β とし、前記第1反射面の結像倍率を β_3 とし、前記第2反射面の結像倍率を β_4 とすると、

25

$$0.15 < |\beta / \beta_3| < 0.95$$

$$0.10 < |\beta / \beta_4| < 0.50$$

の条件式を満足する請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

- 5 31. 前記反射屈折結像光学系を構成する屈折部材が、前記第 1 面と前記第 1 光透過部との間の光路中にのみ配置されることを特徴とする請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

32. 前記第 1 反射面と前記第 2 反射面との距離を d_2 とし、前記第
10 2 反射面と前記第 2 面との距離を d_3 とするとき、

$$0.04 < |d_3 / d_2| < 0.08$$

の条件式を満足する請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

33. 前記第 2 結像光学系は、前記第 1 結像光学系による中間像の像
15 を前記第 2 面上に前記最終像として形成することを特徴とする請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

34. 前記主鏡の前記第 1 光通過部と前記副鏡の前記第 2 光通過部とは、前記反射屈折結像光学系の光軸を含む位置に配置されることを特徴
20 とする請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

35. 第 1 面の中間像を形成するための屈折型の第 1 結像光学系と、
該中間像からの光に基づいて前記第 1 面の縮小像を第 2 面上に形成するための第 2 結像光学系とを備えた反射屈折結像光学系であって、
25 前記第 1 結像光学系は、開口絞りと、該開口絞りとは前記第 1 面との間に配置された第 1 レンズ群と、前記開口絞りとは前記中間像との間に配置

された第2レンズ群とを有し、

前記第2結像光学系は、中央部に第1光通過部を有する第1反射面を備える主鏡と、中央部に第2光通過部を有する第2反射面を備える副鏡とを有し、

5 前記第1反射面は、負パワーの表面反射面であり、

前記第2反射面は、負パワーを有し、

前記第2結像光学系は、前記第2光学系へ入射する光が前記主鏡の前記第1光通過部を介して前記副鏡の第2反射面で反射され、前記第2反射面で反射された光が前記第1反射面で反射され、前記第1反射面で反
10 射された光が前記副鏡の前記第2光通過部を介して前記第2面へ達するように構成されることを特徴とする反射屈折結像光学系。

36. 前記第2結像光学系は、前記第1反射面と前記第2反射面との間の光路中に配置された屈折部材を有することを特徴とする請求項35
15 に記載の反射屈折結像光学系。

37. 前記第2結像光学系中の前記屈折部材の一方の光学面には負屈折力を有するレンズ面が設けられ、他方の光学面には前記第2反射面が設けられることを特徴とする請求項36に記載の反射屈折結像光学系。
20

38. 前記第2結像光学系中の前記屈折部材の前記副鏡側の光学面と前記副鏡の前記第2反射面とは離間していることを特徴とする請求項36に記載の反射屈折結像光学系。

25 39. 前記反射屈折結像光学系を構成する屈折部材は、前記第1面と前記第2面との間の光路のうち、前記第1光通過部と前記第2光通過部

との間を除いた部分にのみ配置されることを特徴とする請求項 3 5 に記載の反射屈折結像光学系。

- 4 0 . 第 1 面と第 2 面とを互いに光学的に共役にする結像光学系と、
5 前記第 2 面に対する基板の位置を光電的に検出する基板位置検出系とを備えた光学装置において、

前記結像光学系は、中央部に第 1 光通過部を有する負屈折力の第 1 反射面からなる主鏡と、該主鏡と前記第 2 面との間に配置されて中央部に第 2 光通過部を有する第 2 反射面と表面に該第 2 反射面を設けた母材と
10 からなる副鏡とを有し、

前記基板位置検出系は、前記副鏡の前記母材を通過させた後に、前記第 2 光通過部を前記第 2 面へ投影した領域である検出領域へ検出光を導く送光系と、前記検出領域での反射光を前記副鏡の前記母材を通過させた後に光電変換部へ導く受光系とを備えることを特徴とする光学装置。

15

- 4 1 . 所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、

前記第 1 面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第 2 面上に配置された感光性基板上に投影するための請求項 4 0 に記載の光学装置とを備えていることを特徴とする投影露光装置。
20

- 4 2 . 前記照明光により所定のパターンが形成されたマスクを照明する工程と、

請求項 4 0 に記載の光学装置を用いて、前記第 1 面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第 2 面上に配置された感光性基板上へ投影する工程とを含むことを特徴とする露光方法。
25

4 3. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材は、蛍石から形成されていることを特徴とする請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

5

4 4. 前記第 1 結像光学系中の前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間の光路中には、入射光束のうち光軸を中心とする一部の光束を遮るための遮蔽部材が配置されていることを特徴とする請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

10

4 5. 前記一次像の形成位置の近傍に配置された視野絞りをさらに備えていることを特徴とする請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

15 4 6. 前記反射屈折結像光学系は、前記第 2 面上に直径 10 mm 以上のイメージサークルを有することを特徴とする請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

4 7. 前記第 2 結像光学系中の前記主鏡は、線膨張係数 $3 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 以下の物質で形成されていることを特徴とする請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

20 4 8. 前記第 1 結像光学系中の前記第 1 レンズ群の後側焦点位置の近傍には、光束断面内における第 1 の領域を通過する光束と、前記光束断面内における前記第 1 の領域とは異なる第 2 の領域を通過する光束とに対して相対的に強度差、位相差および偏光状態の差のうちの少なくとも

1つを与えるための光学素子が配置されていることを特徴とする請求項1、2、17、21～23及び33のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

5 49. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべての屈折光学部材、前記主鏡および前記副鏡は、単一の光軸に沿って配置されていることを特徴とする請求項1、2、17、21～23及び33のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

10 50. 前記反射屈折結像光学系を構成するすべてのレンズ成分の枚数は、10枚以下であることを特徴とする請求項1、2、17、21～23及び33のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

15 51. 前記第1結像光学系は、前記光軸の方向において前記開口絞りとは異なる位置に配置されて前記光軸近傍の光を遮断する中心遮蔽部材を有することを特徴とする請求項1、2、17、21～23及び33のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

20 52. 紫外領域の照明光により所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、

前記第1面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を感光性基板上に投影するための請求項1、2、17、21～23及び33のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系とを備えていることを特徴とする投影露光装置。

25

53. 前記マスクを所定の走査方向に沿って可動となるように支持す

る第 1 ステージと、前記感光性基板を所定の走査方向に沿って可動となるように保持する第 2 ステージとをさらに備え、

前記第 1 及び第 2 ステージを前記反射屈折結像光学系に対して移動させつつ露光を行うことを特徴とする請求項 5 2 に記載の投影露光装置。

5

5 4. 前記露光を行う際に前記第 1 及び第 2 ステージは同方向へ移動することを特徴とする請求項 5 3 に記載の投影露光装置。

5 5. 紫外領域の照明光を生成する工程と、

10 前記照明光により所定のパターンが形成されたマスクを照明する工程と、

請求項 1、2、17、21～23 及び 33 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系を用いて、前記第 1 面上に配置された前記マスクの前記所定のパターンの像を前記第 2 面上に配置された感光性基板上へ投影
15 する工程とを含むことを特徴とする露光方法。

20

5 6. 前記マスクと前記感光性基板とを前記反射屈折結像光学系に対して移動させつつ露光を行うことを特徴とする請求項 5 5 に記載の投影露光方法。

5 7. 前記マスクと前記感光性基板とを前記反射屈折結像光学系に対して同方向へ移動させつつ露光を行うことを特徴とする請求項 5 6 に記載の投影露光方法。

25 5 8. 請求項 5 2 に記載の投影露光装置を用いたデバイスの製造方法であって、

基板上に感光性材料を塗布することによって前記感光性基板を準備する工程と、

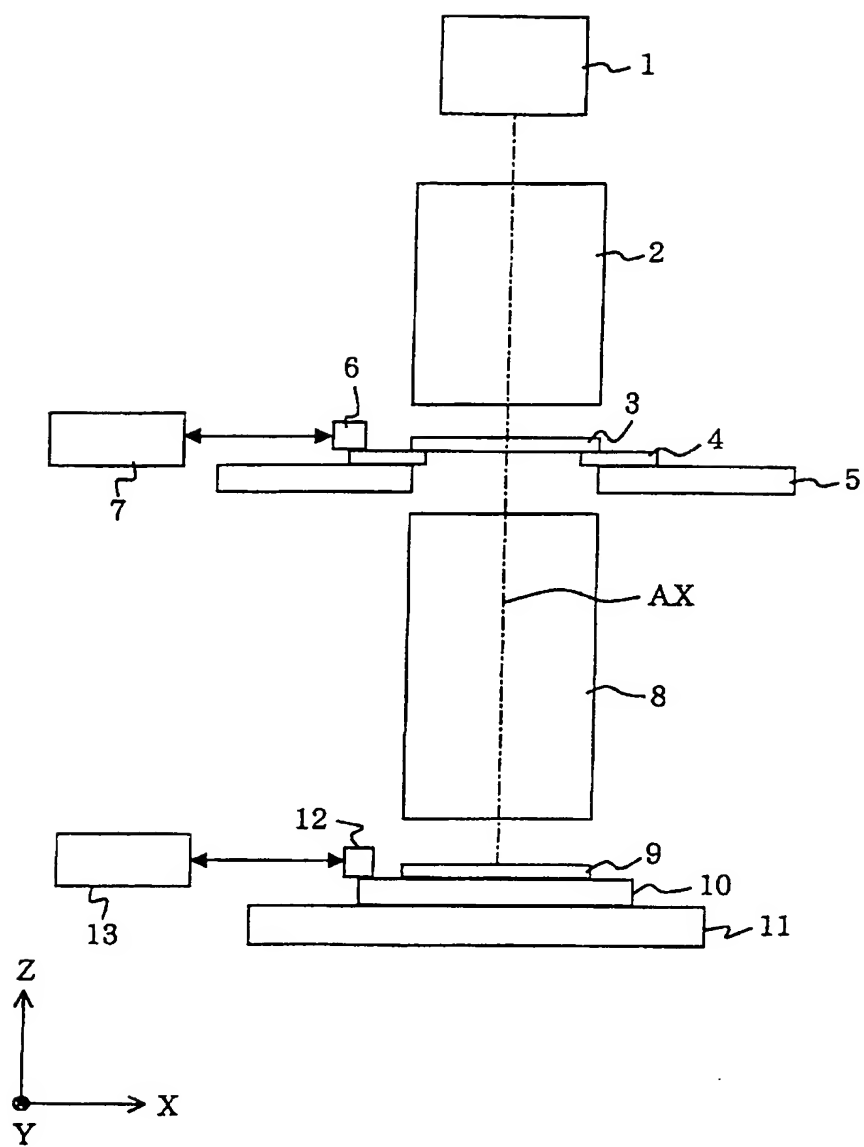
前記感光性基板上に前記反射屈折結像光学系を介して前記マスクの最終像を形成する工程と、

5 前記基板上の前記感光性材料を現像する工程と、

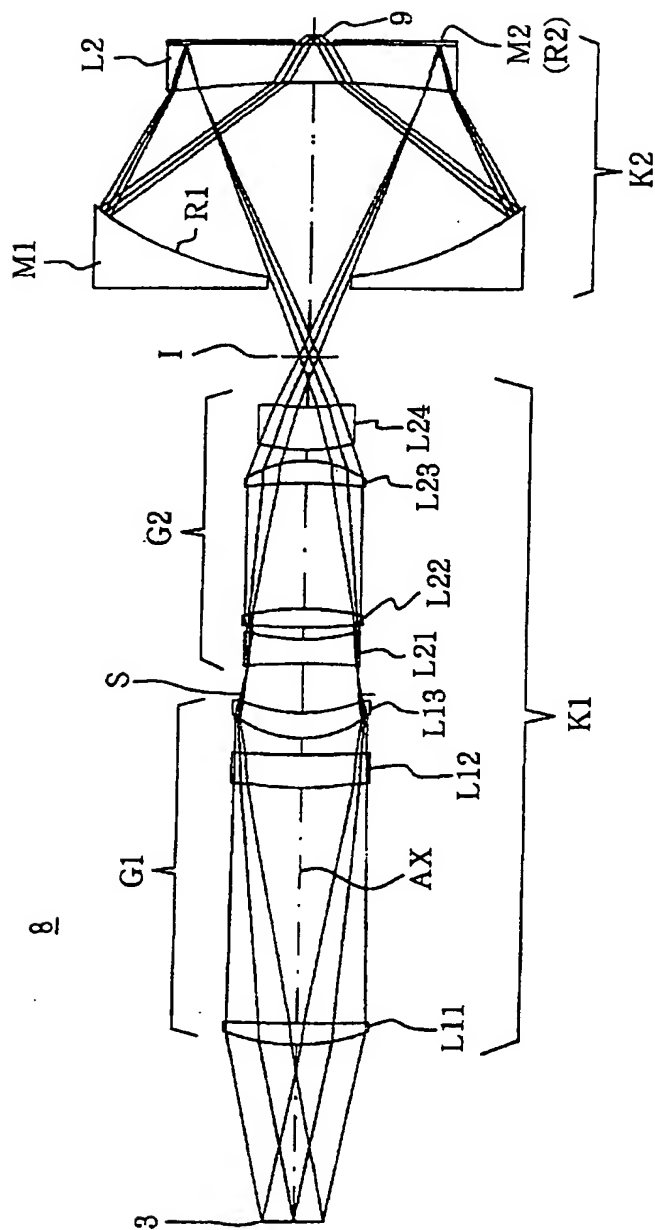
前記現像された前記感光性材料に対応したパターンを前記基板上に形成する工程と

を有することを特徴とするデバイス製造方法。

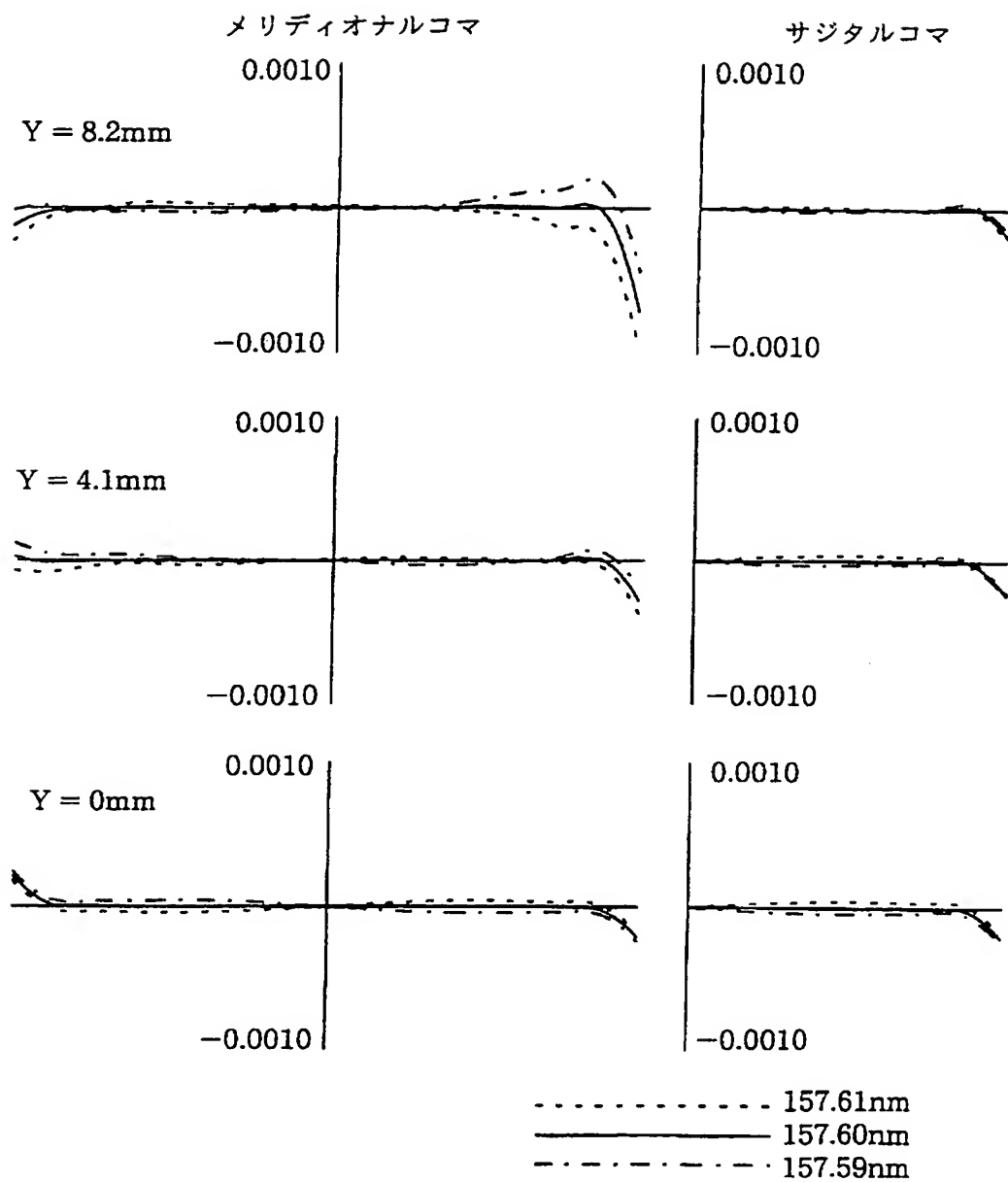
第 1 図



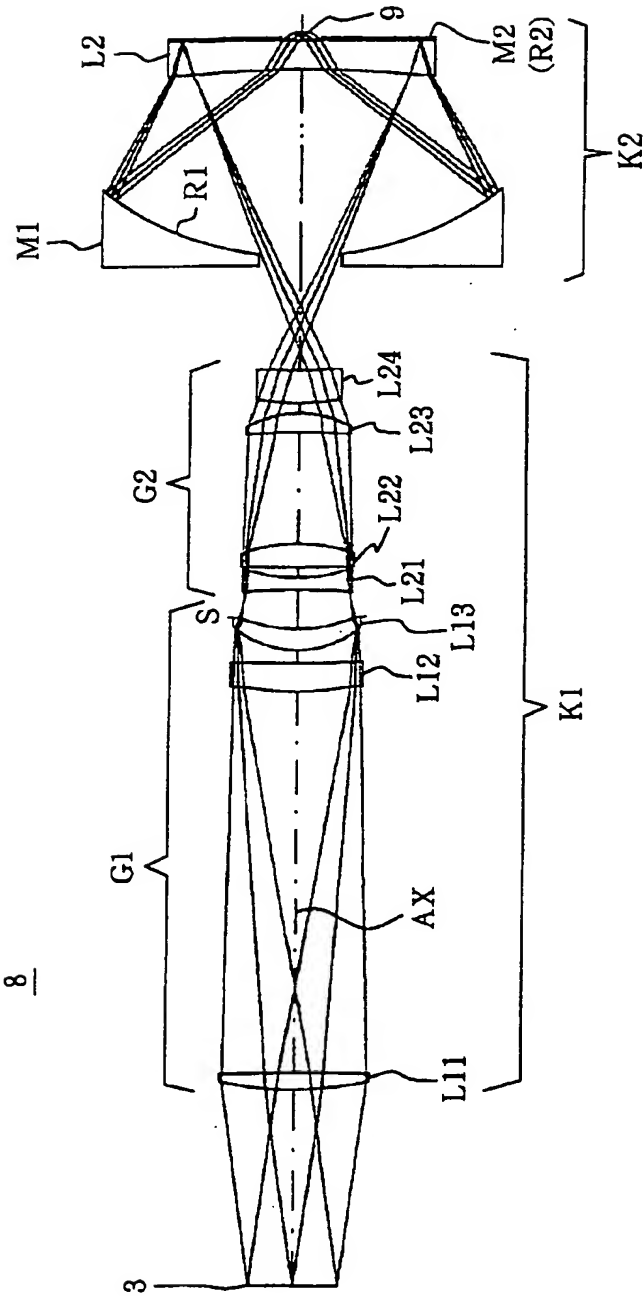
第 2 図



第 3 図

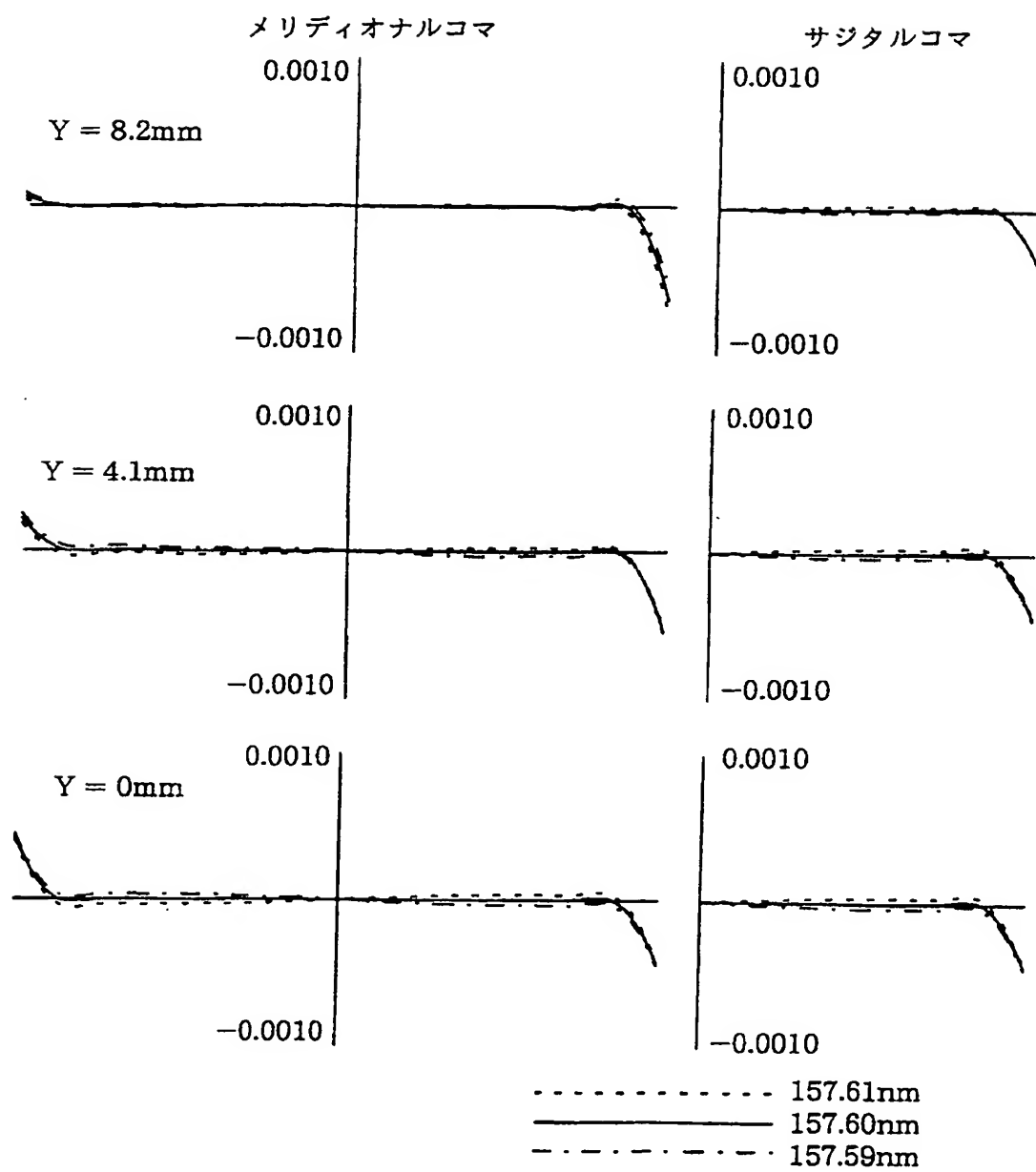


第 4 図

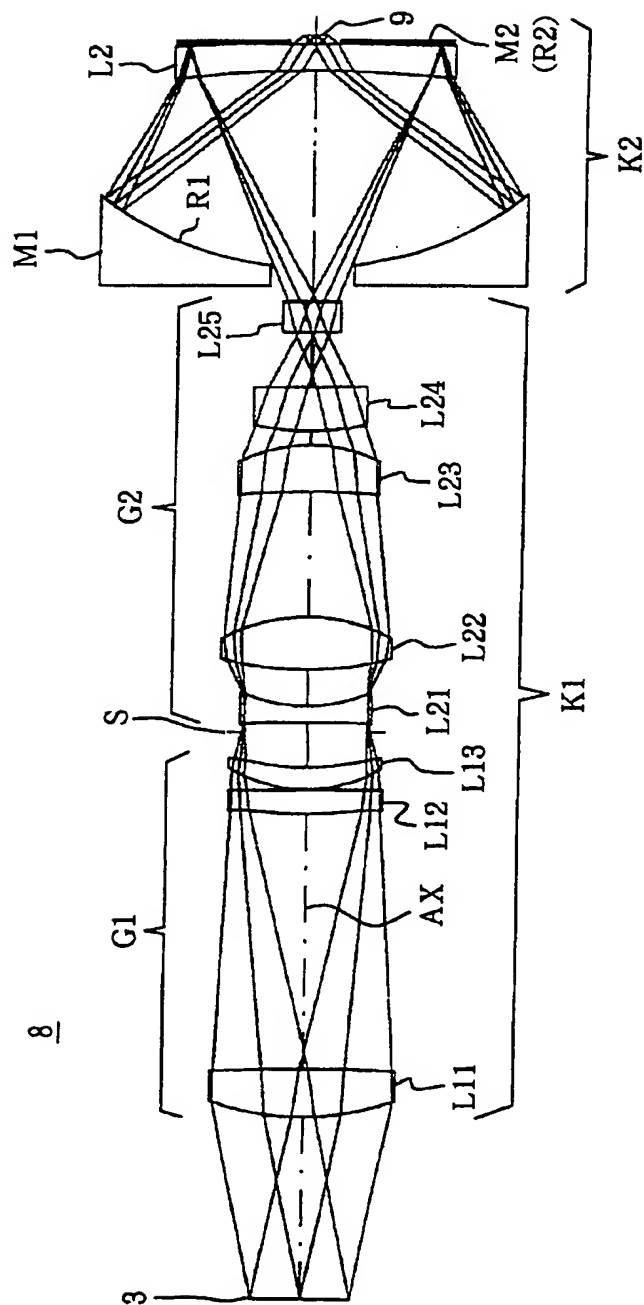


5/23

第 5 図

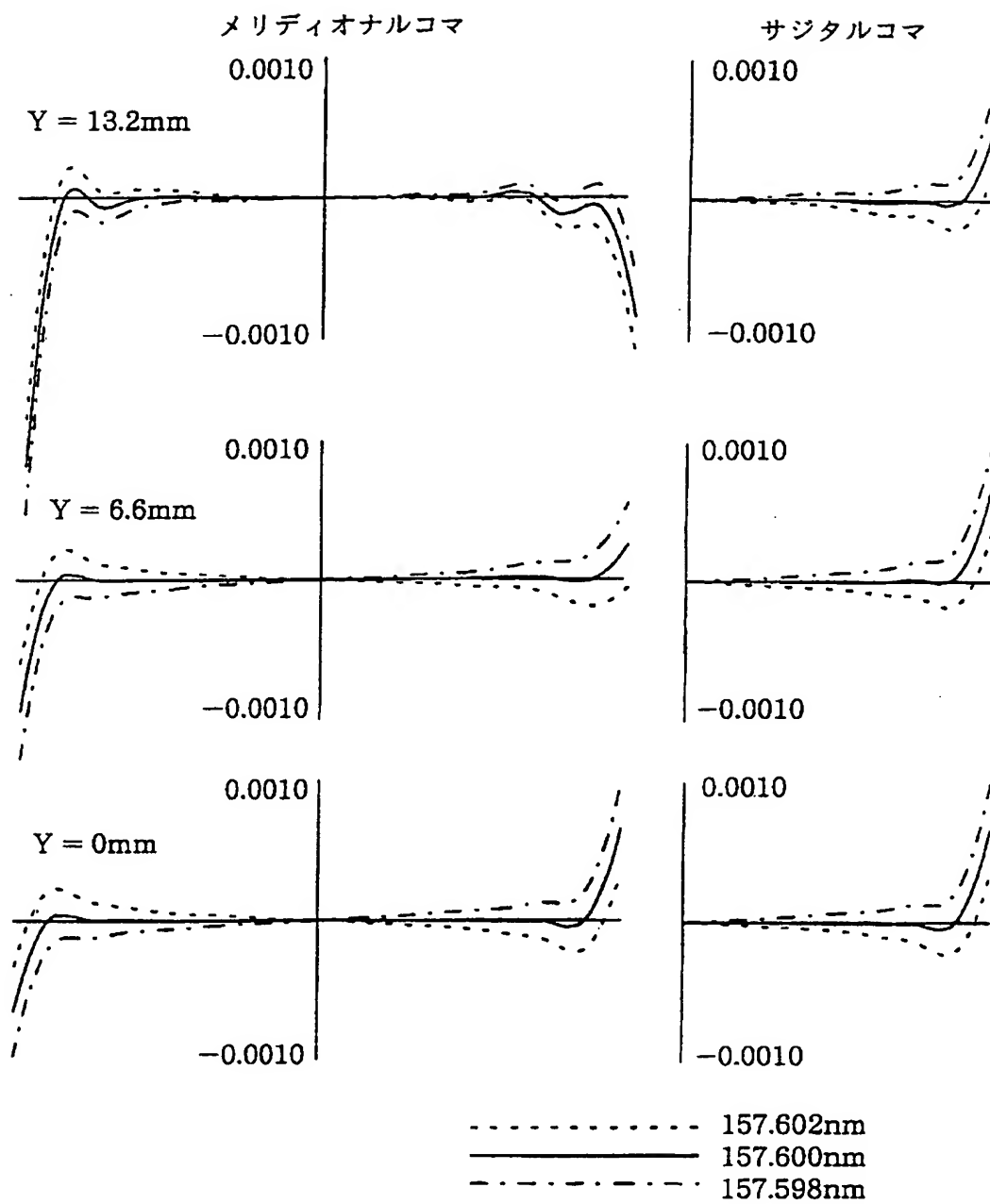


第 6 図

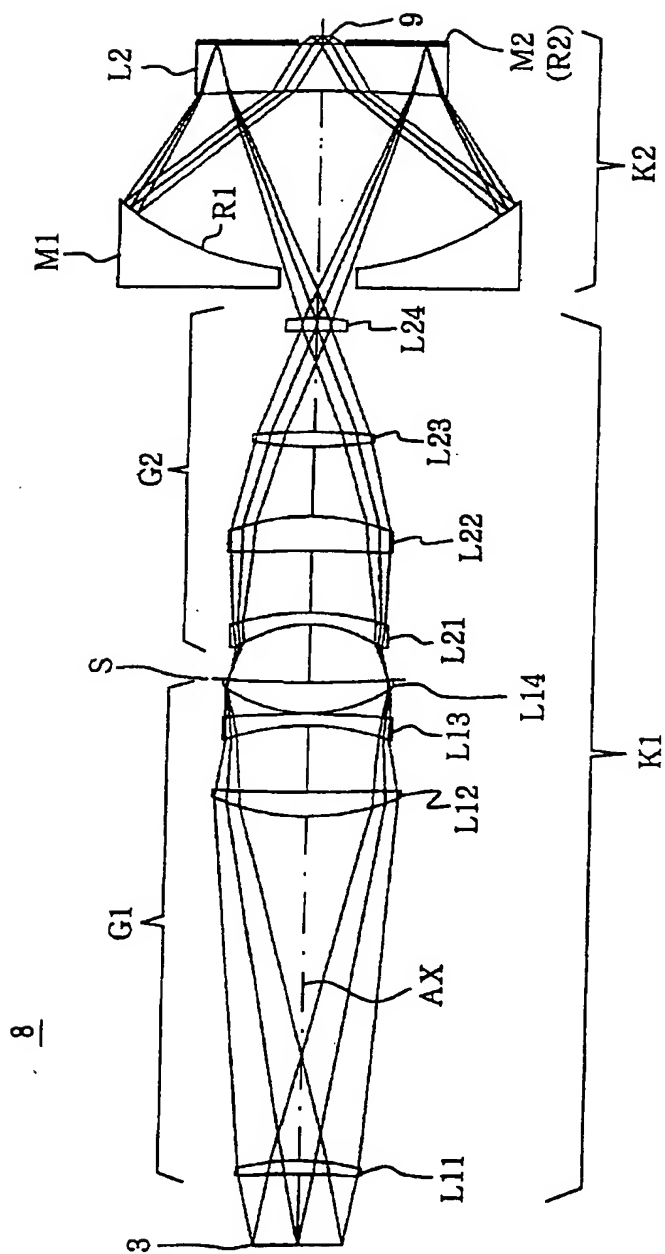


7/23

第 7 図

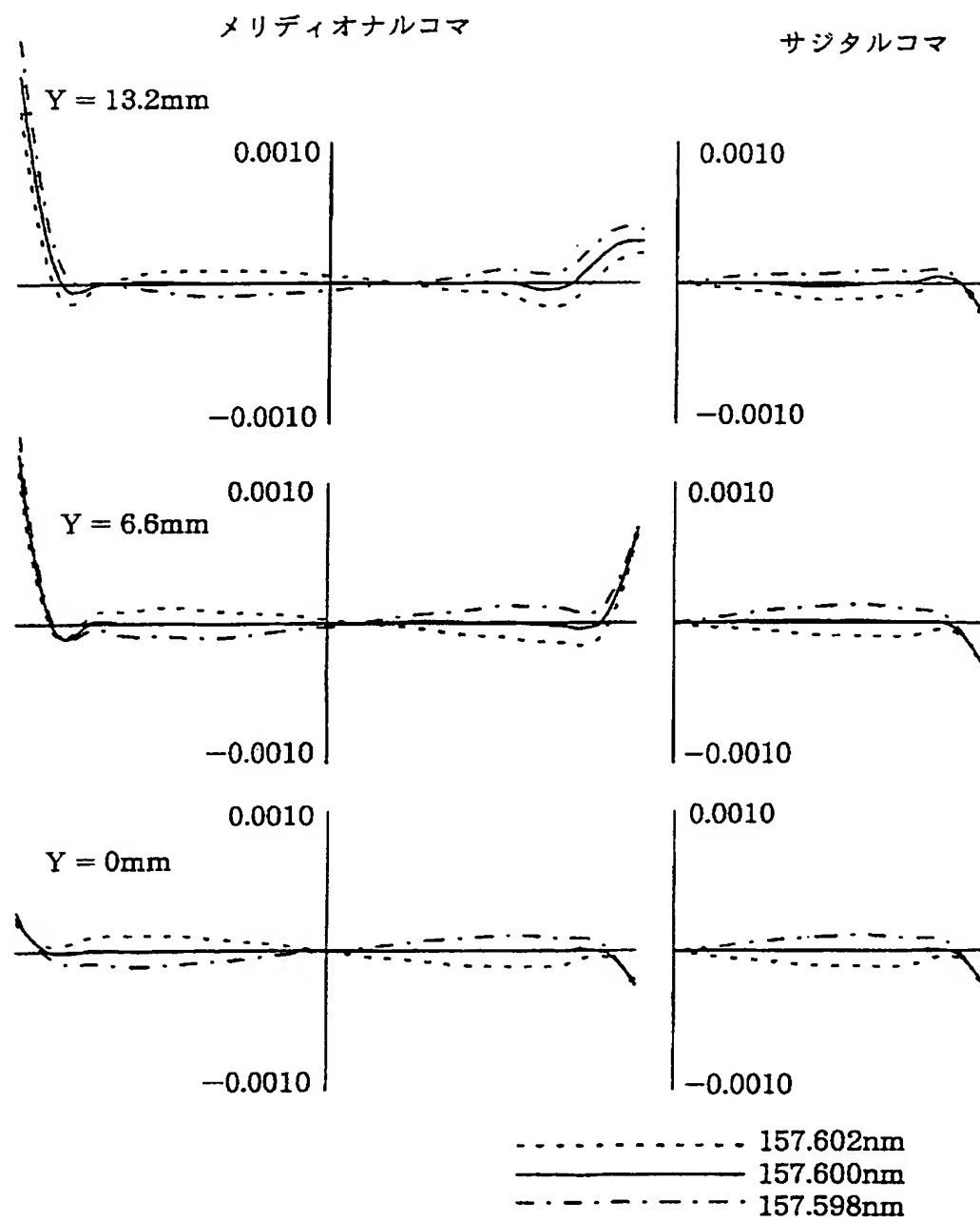


第 8 図

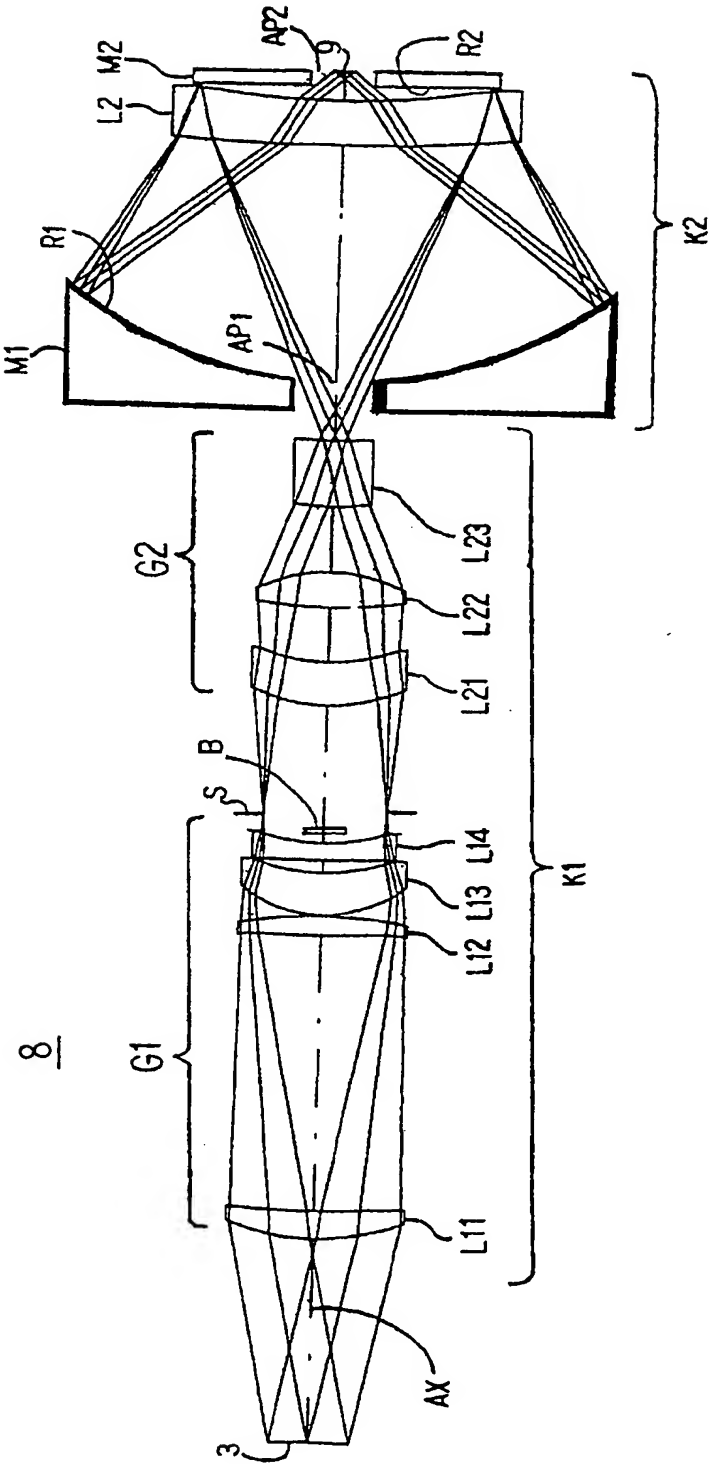


9/23

第 9 図



第 10 図

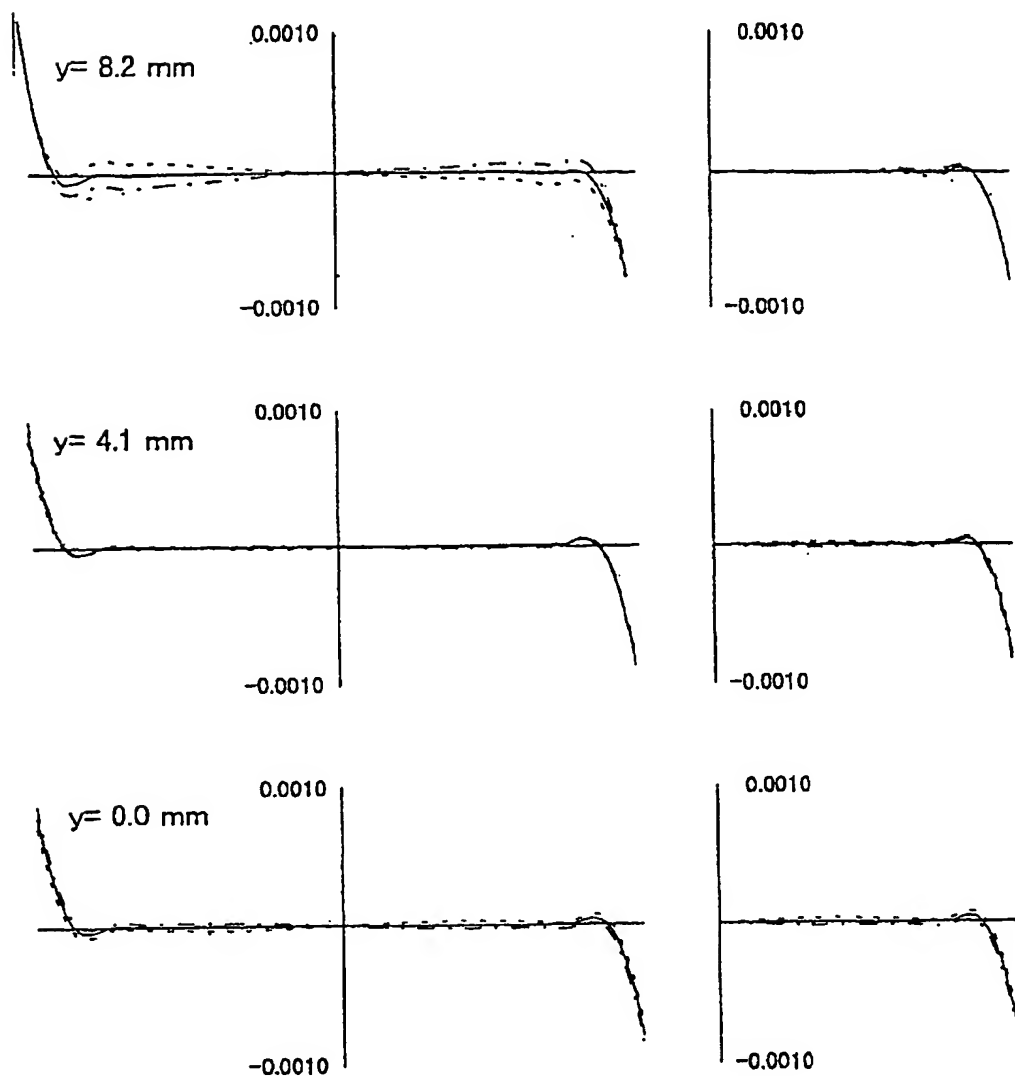


11/23

第 11 図

メリディオナルコマ

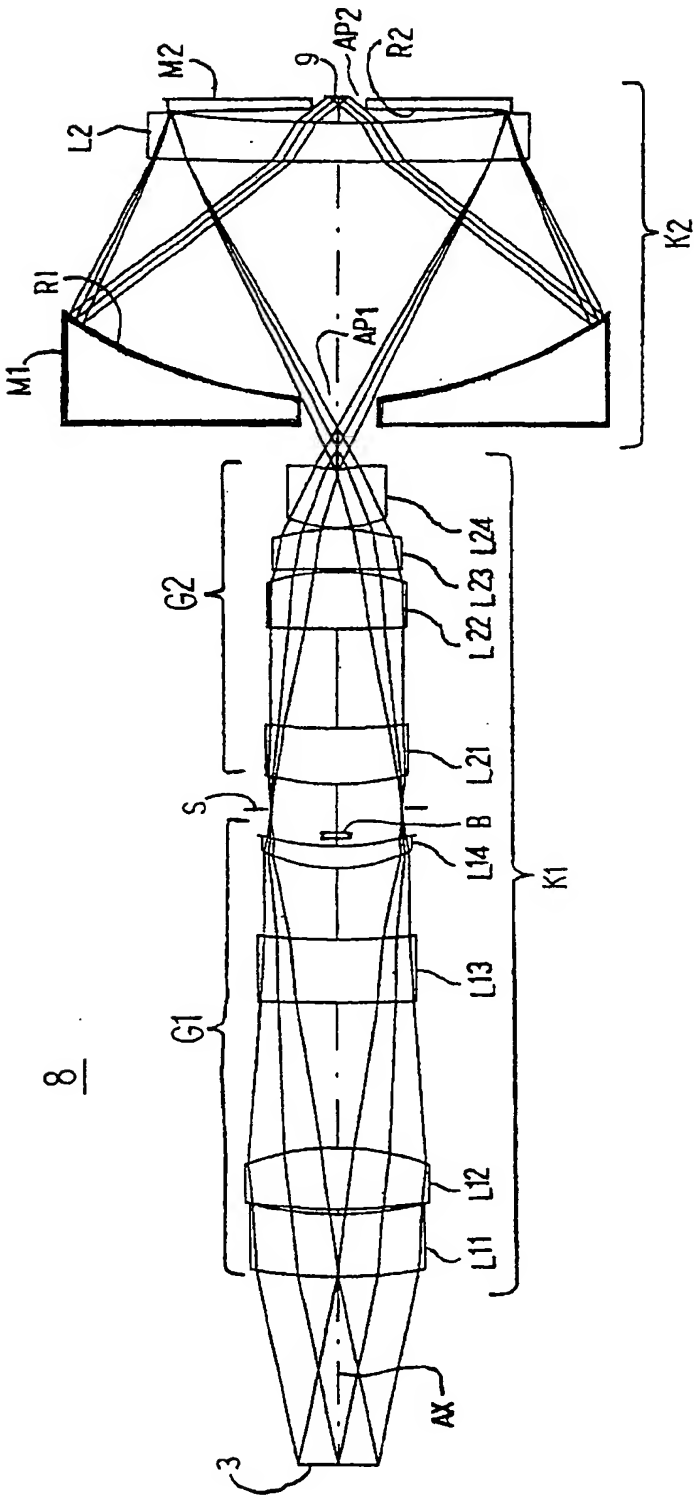
サジタルコマ



----- 157.61 nm
————— 157.60 nm
- · - · - 157.59 nm

第 12 図

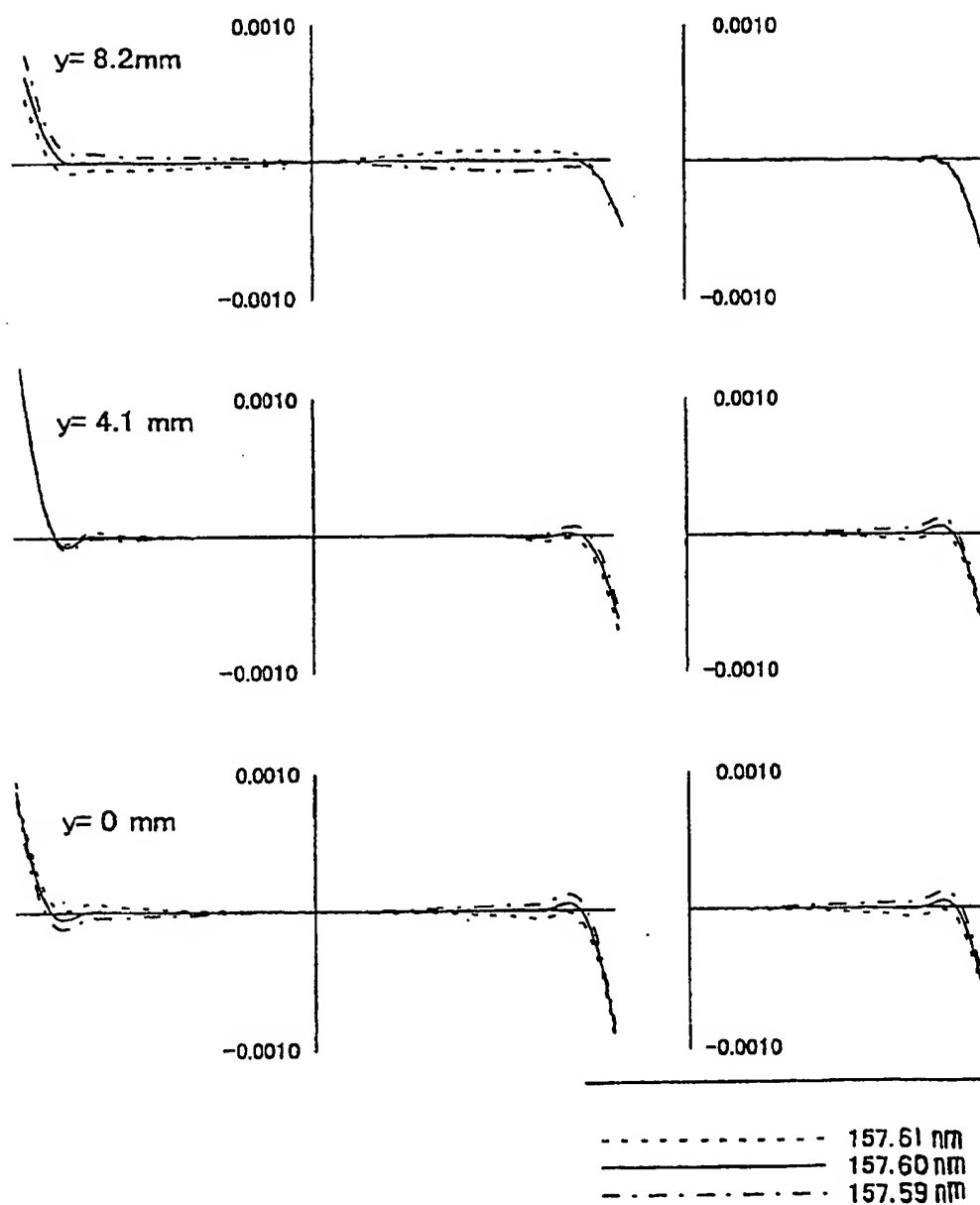
12/23



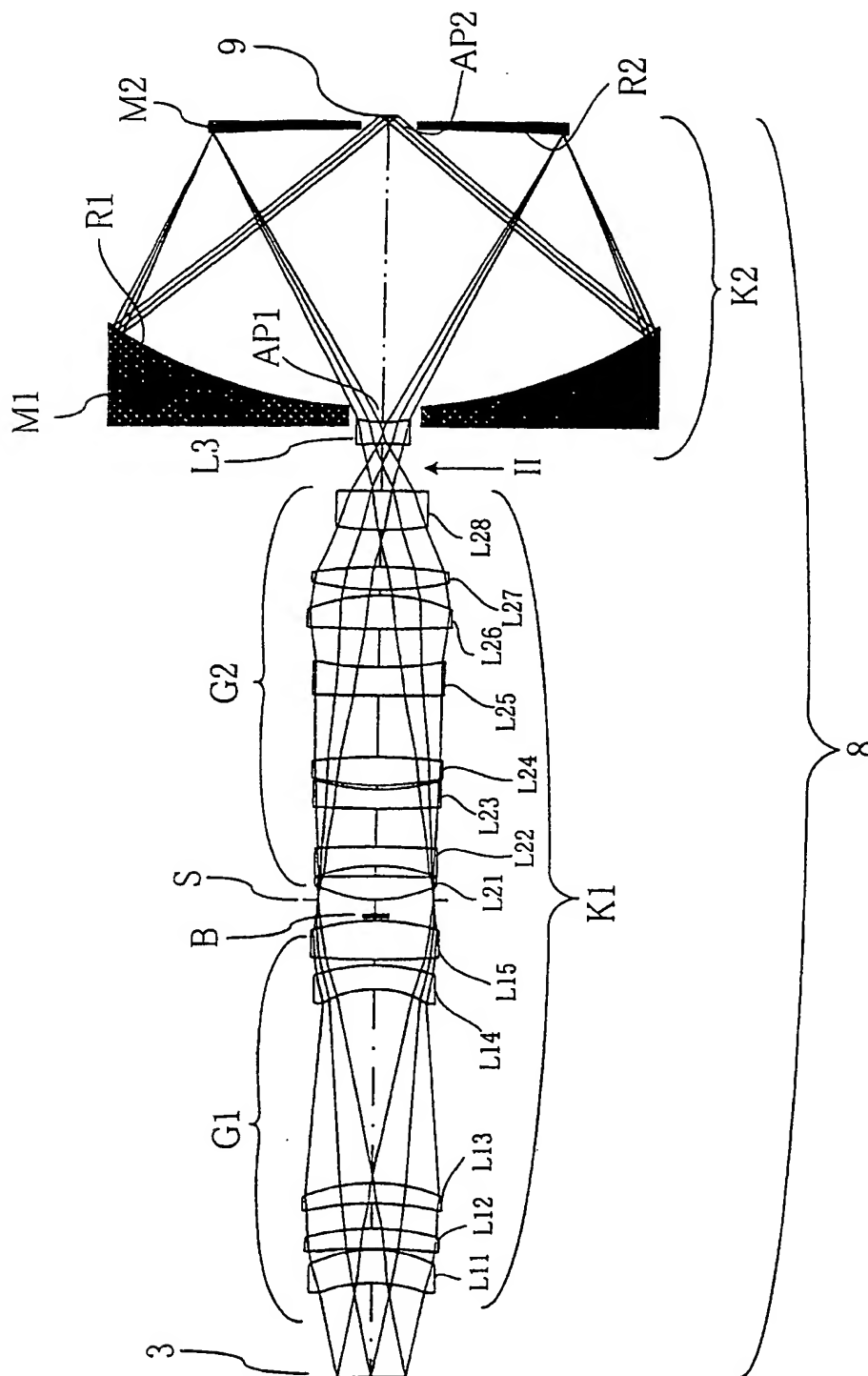
第 13 図

メリディオナルコマ

サジタルコマ

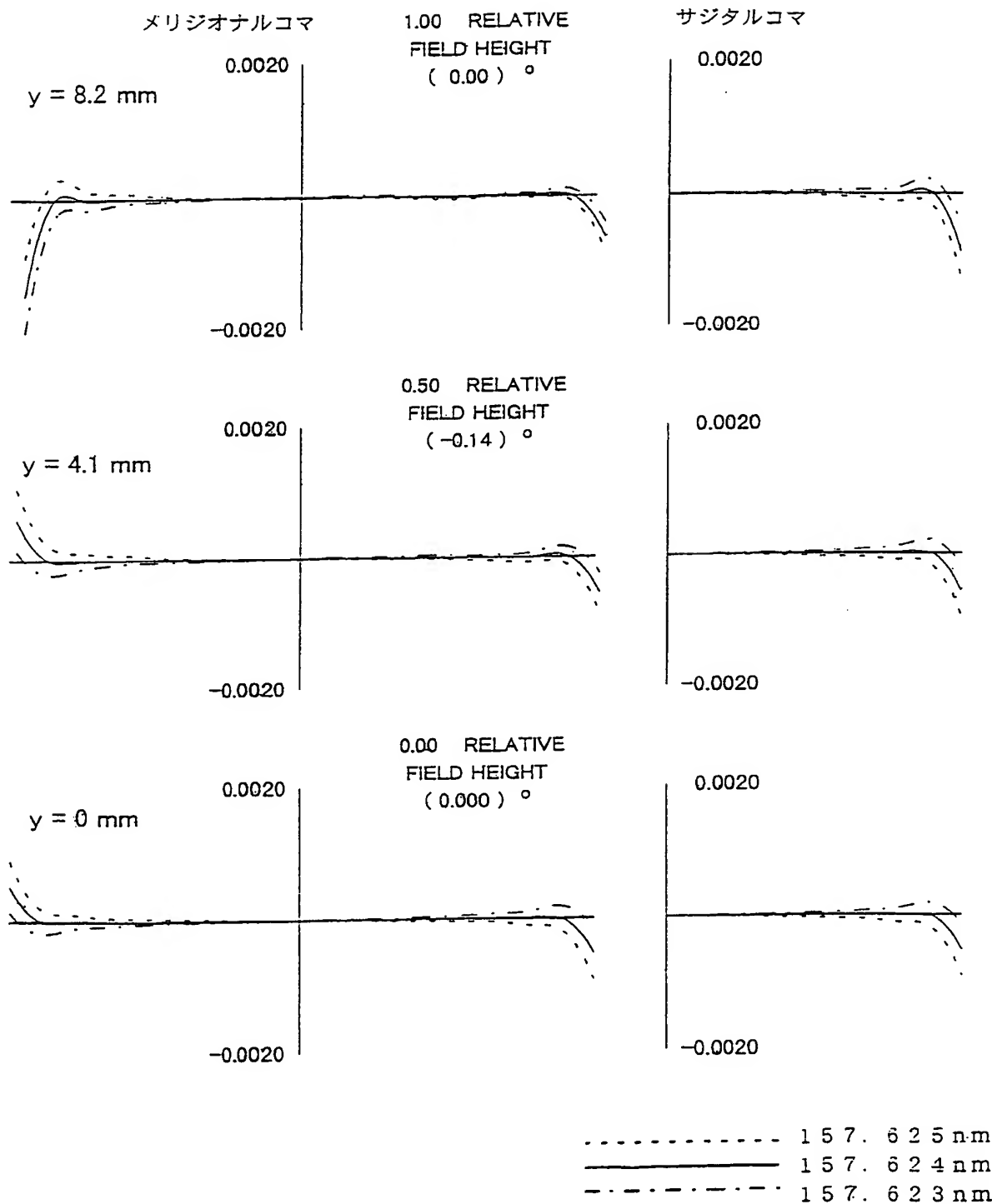


第 1 4 図

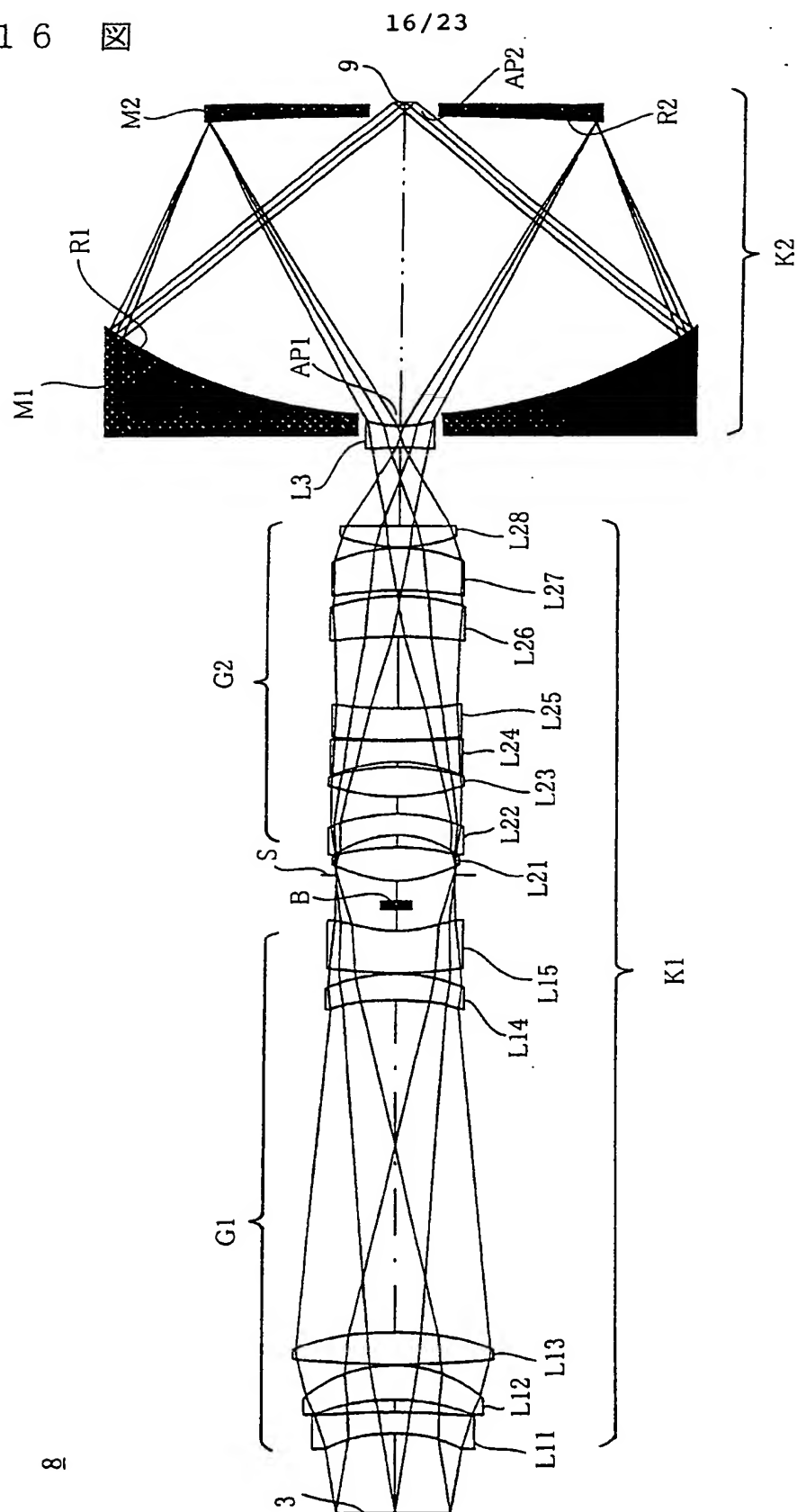


15/23

第 15 図

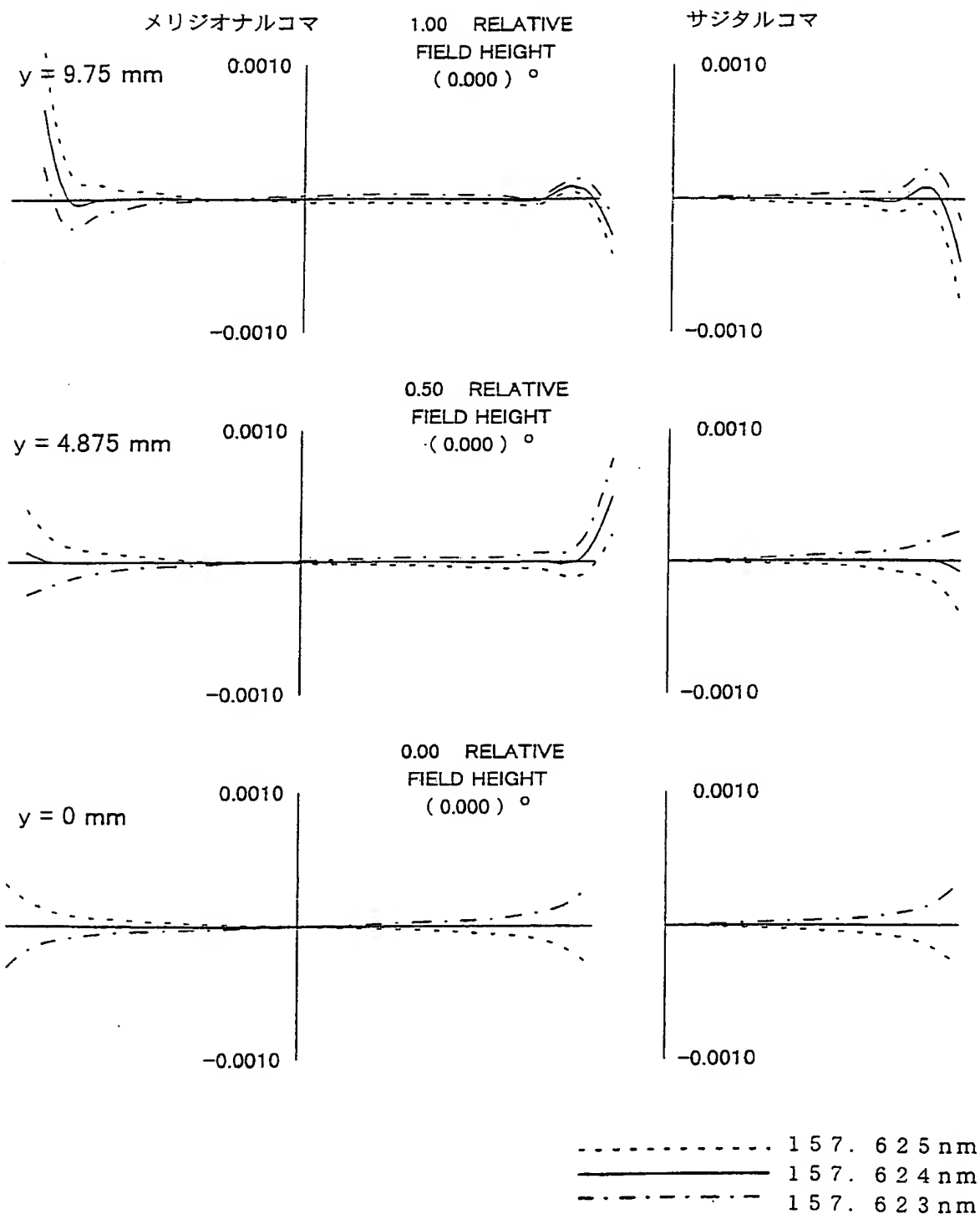


第 16 図



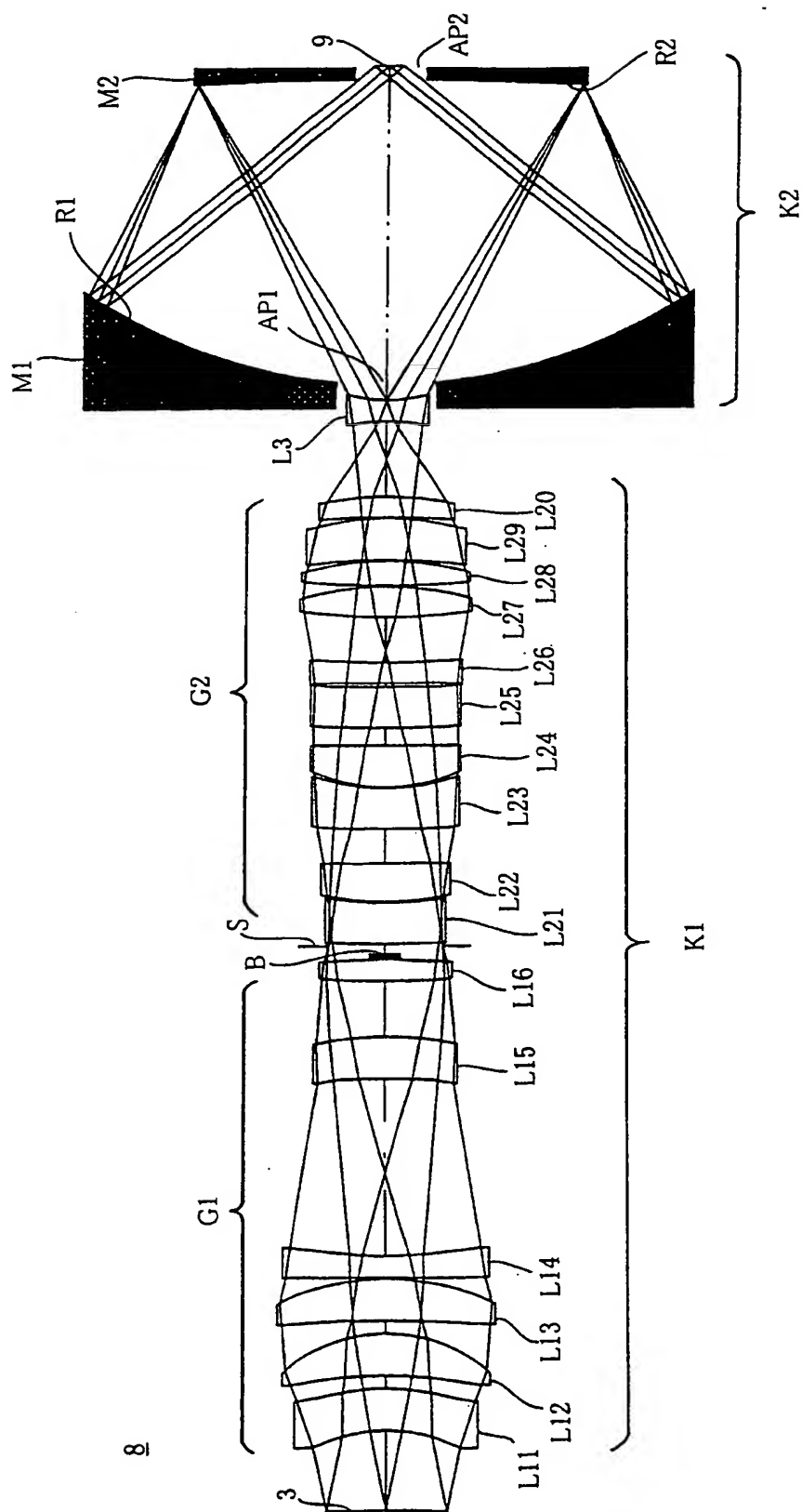
第 17 図

17/23



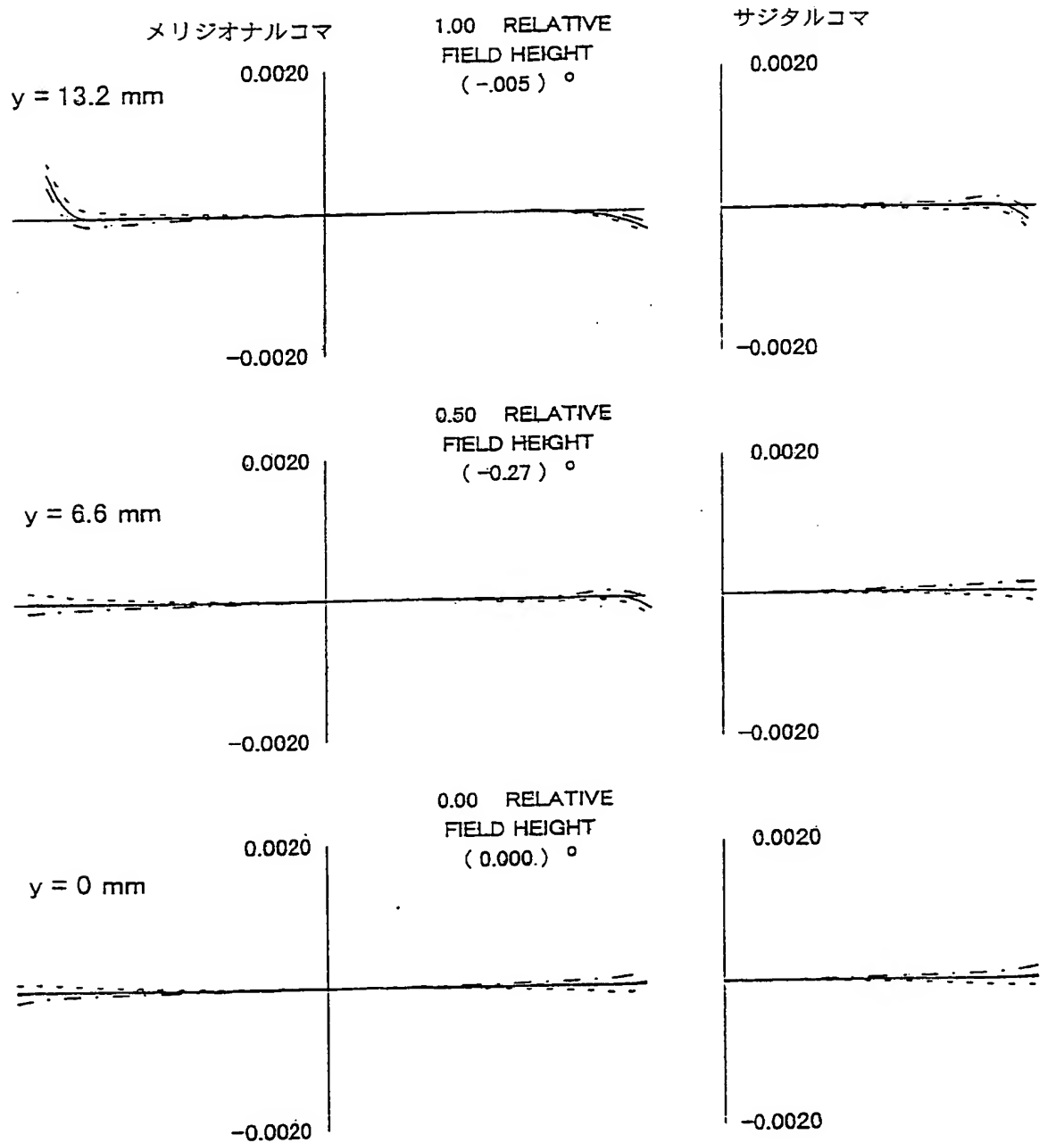
第 18 図

18/23



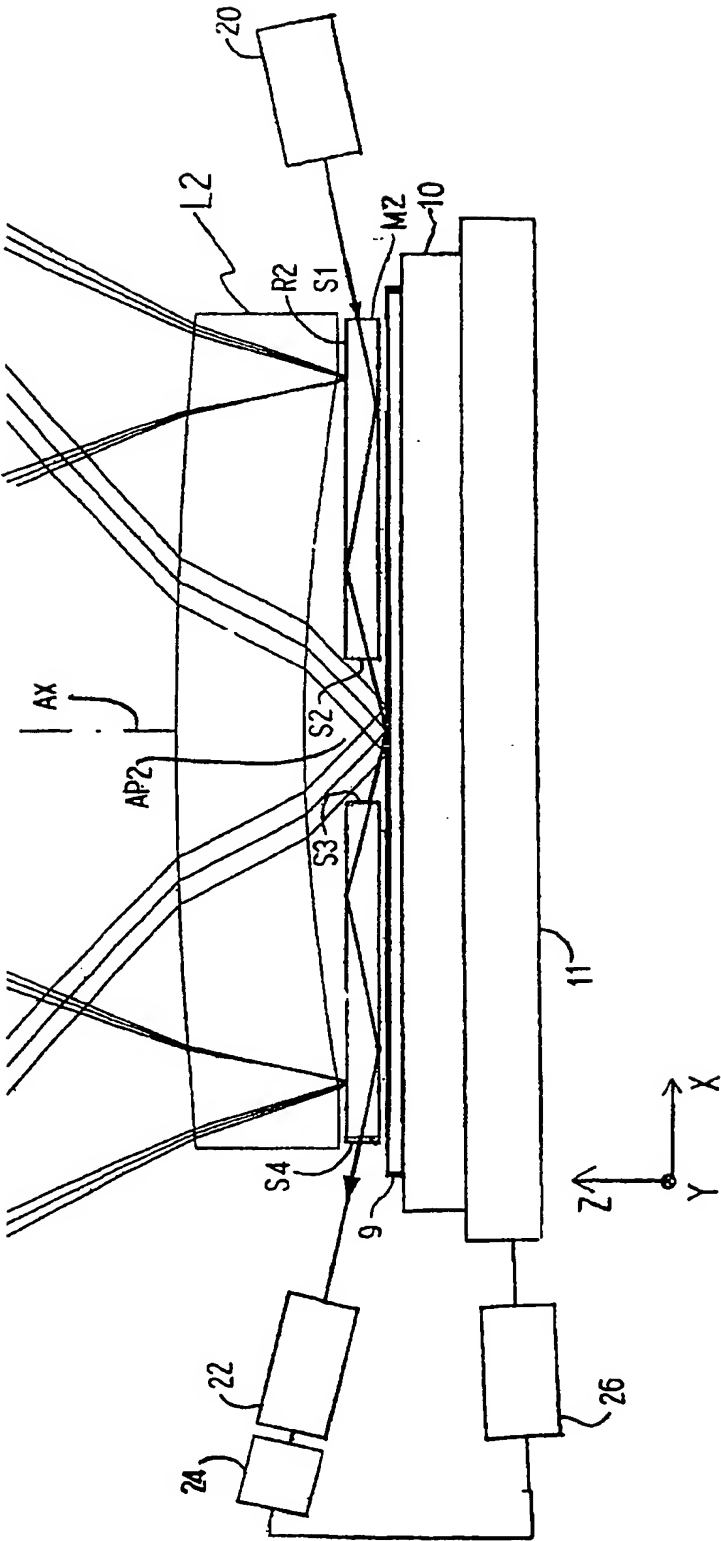
19/23

第 19 図

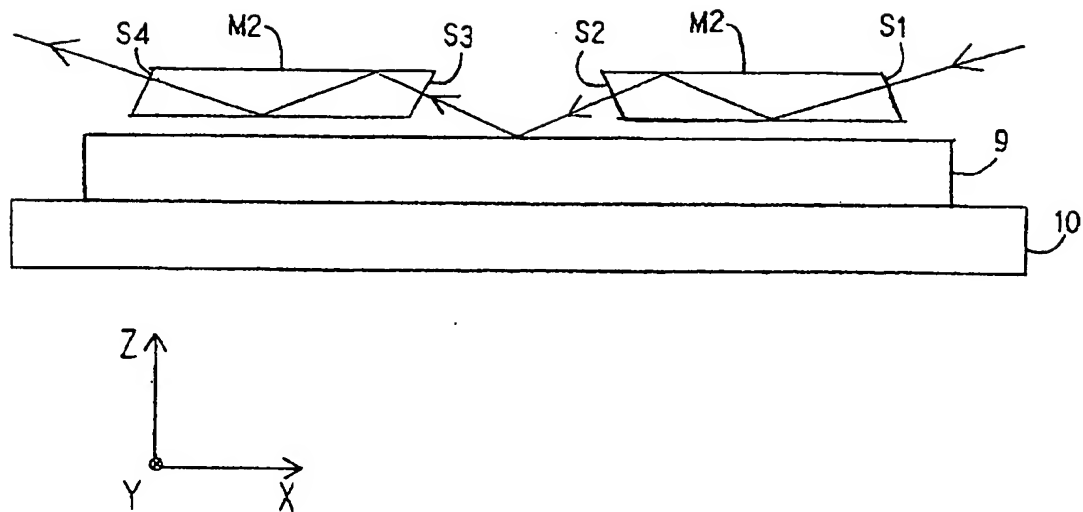


----- 157.625 nm
————— 157.624 nm
- - - - - 157.623 nm

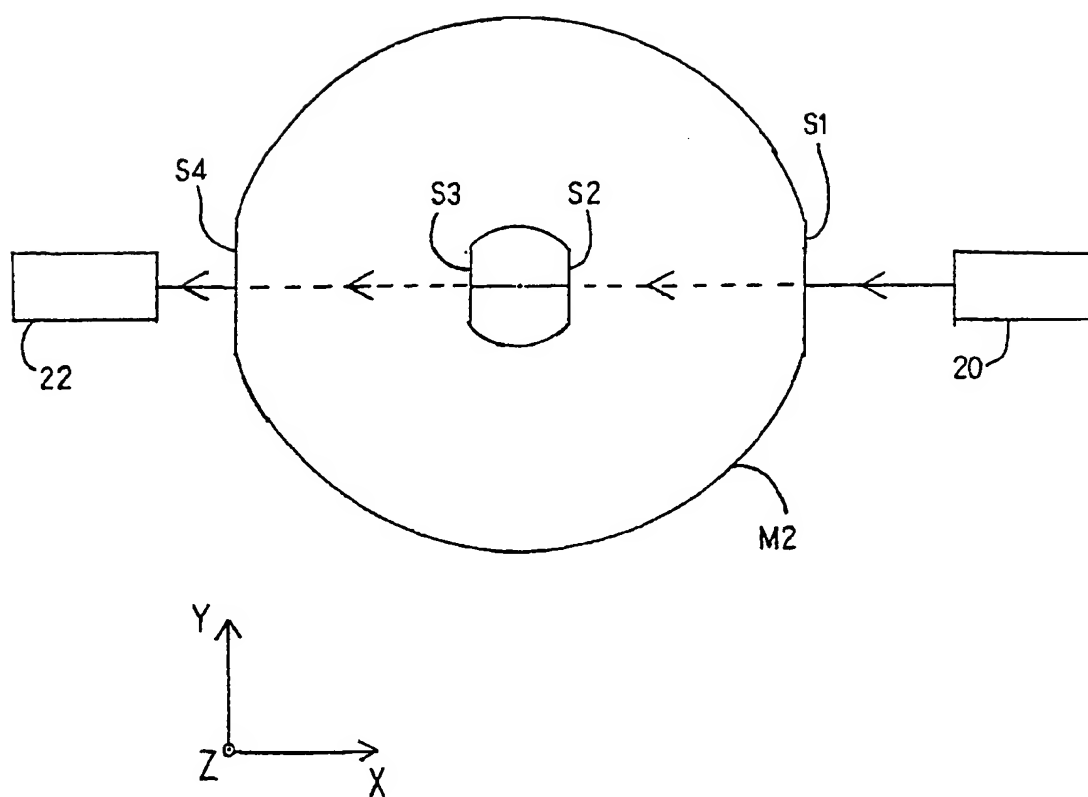
第 20 図



第 21 図

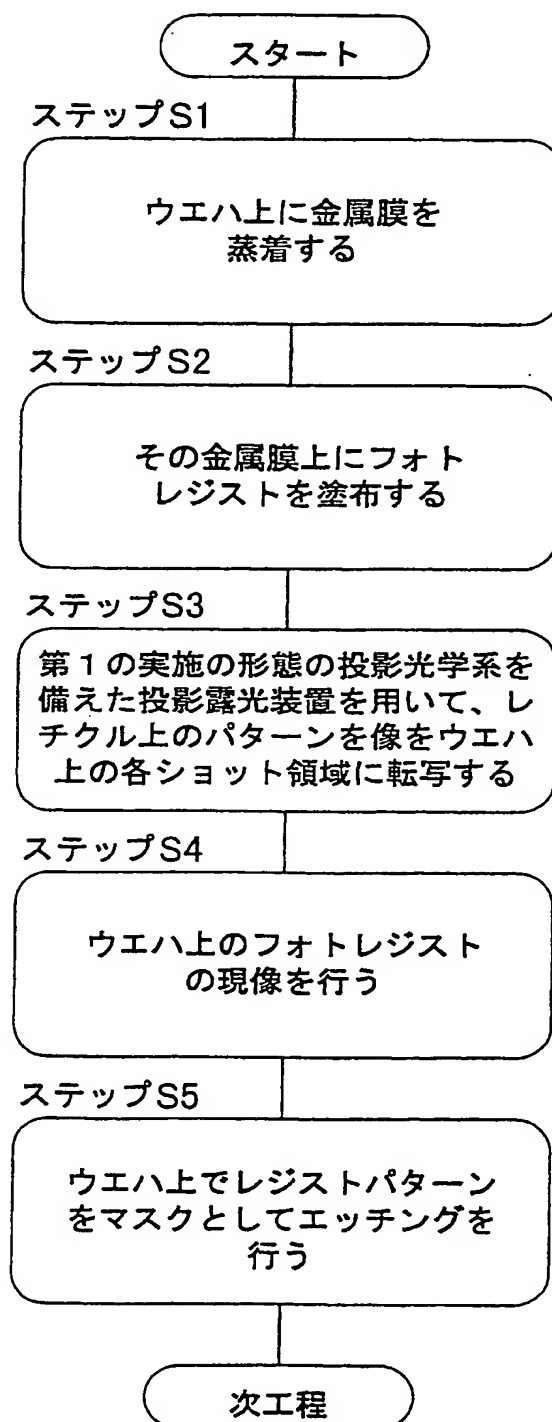


第 22 図



第 23 図

23/23



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/07225

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl.⁷ G02B17/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl.⁷ G02B9/00-17/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|--|
| Y | US, 5031976, A (KLA Instruments, Corporation), 16 July, 1991 (16.07.91), Fig.2 (Family: none) | 1-6, 8-15, 17, 19 , 21-24, 26-29, 3 1, 33-58 |
| A | | 7, 16, 18, 20, 25, 30, 32 |
| Y | JP, 60-184223, A (Nippon Kogaku K.K.), 19 September, 1985 (19.09.85), page 3, upper right column, lines 16-17 (Family: none) | 1-6, 8-15, 17, 19 , 21-24, 26-29, 3 1, 33-58 |
| A | | 7, 16, 18, 20, 25, 30, 32 |
| Y | JP, 6-66543, A (Nikon Corporation), 08 March, 1994 (08.03.94), Full text; all drawings (Family: none) | 40-58 |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

| | |
|---|--|
| * Special categories of cited documents: | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone |
| "E" earlier document but published on or after the international filing date | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | |

Date of the actual completion of the international search
13 March, 2000 (13.03.00)

Date of mailing of the international search report
21 March, 2000 (21.03.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B17/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B9/00-17/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|---|
| Y | US, 5031976, A (KLA Instruments, Corporation) 16. 7月. 1991 (16. 07. 91) Fig. 2 (ファミリーなし) | 1-6, 8-15, 17, 19, 21-24, 26- 29, 31, 33-58 |
| A | | 7, 16, 18, 20, 25, 30, 32 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 03. 00

国際調査報告の発送日

21.03.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P).

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山村 浩

2V

9219

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|--|---|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| Y | J P, 60-184223, A (日本光学工業株式会社) 19. 9月. 1985 (19. 09. 85) 第3頁右上欄第16-第17行 (ファミリーなし) | 1-6, 8-15, 17, 19, 21-24, 26- 29, 31, 33-58 |
| A | | 7, 16, 18, 20, 25, 30, 32 |
| Y | J P, 6-66543, A (株式会社ニコン) 8. 3月. 1994 (08. 03. 94) 全文、全図 (ファミリーなし) | 40-58 |